

**TÜBİTAK  
COST 260 PROJESİ  
No : 197E063**

**ADAPTİF ANTEN DİZİLERİ  
FİNAL RAPORU**

15 Kasım 2002

**O D T Ü  
ELEKTRİK VE ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**Prof. Dr. Altunkan Hızal**

**TÜBİTAK**  
**ARAŞTIRMA PROJESİ GELİŞME RAPORU**

PROJE ADI : COST 260 : ADAPTİF ANTEN DİZİLERİ									
PROJE NO.:			Başlama Tarihi				Bitiş Tarihi		
197E063			01/Mayıs/2000				01/Ağustos/2002		
Gelişme Raporu No: 1			Raporun Kapsadığı Dönemin Tarihleri 01/Şubat/2002 - 01/Ağustos/2002						
TÜBİTAK Tarafından Sağlanan Destek Miktarı TL			Gelişme Raporu Döneminde Harcanan		Şimdiye Kadar Harcanan TL		KALAN TL		
36 035 200 000					29 700 902 300		6 334 297 700		
TÜBİTAK'ca SAĞLANAN DESTEKTEN ŞİMDİYE KADAR YAPILAN HARCAMALARIN FASILLARA GÖRE DAĞILIMI									
Telif	Pers onel	Teçhiz at ve Sabit Yatırım	Sarf Malzemesi TL	COST 260 Yurt dışı Seyahat TL	Hiz met Alı mı	Bilgi İşle m Harc ama- ları	Kırtas iye ve Bası m	Diğ er	TOPLAM TL
			34 075 200 000	1 960 000 000					36 035 200 000

Proje Yürütücüsünün Adı-Soyadı	İMZASI	TARİH
Prof. Dr. Altunkan Hızal		15 /Kasım / 2002

Projede görev yapan diğer araştırmacılar
--

Doç. Dr. Sencer Koç (Elektronik)
----------------------------------

Asst. Y. Müh. Erhan Halavut (RF-Anten)
--

Asst. Müh. Erkan Hatipoğlu (Elektronik)
---

Y.Doç.Dr. Özlem Aydın Çivi (Rapor)
------------------------------------

Y.Doç.Dr. Lale Alatan (Rapor)
-------------------------------

## ÖNSÖZ

Cost 260 projesi kapsamında, uydu iletişimine yönelik 11.49 GHz-11.678 GHz frekans aralığında çalışan, faz taramalı adaptif bir almaç anten sistemi tasarlanmış, üretilmiş ve test edilmiştir. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü öğretim görevlilerinden oluşan beş kişilik bir ekip tarafından gerçekleştirilen bu proje TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖNSÖZ .....</b>	<b>IV</b>
<b>ÖZ .....</b>	<b>VIII</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>IX</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 SİSTEMİN TANIMI .....	1
1.2 SİSTEM ŞEMASI .....	2
<b>2. GELİŞTİRİLEN SİSTEMİN KISIMLARI .....</b>	<b>3</b>
2.1 ANTEN TASARIMI VE ÜRETİMİ .....	3
2.2 SMT-1 RF-IF1 FREKANS İNDİRME KARTI .....	15
2.3 SMT-2 FREKANS YÜKSELTME KARTI .....	17
2.4 SMT-3 HÜZME KARTI .....	17
2.5 KOMPLEKS VEKTÖR MODULATÖR - RF TASARIM .....	21
2.6 SİSTEMİN BİLGİSAYAR KONTROLÜ İÇİN ELEKTRONİK TASARIM .....	34
<b>3. ÜRETİLEN SMART ANTEN SİSTEMİ PROTOTİPİNİN ÖLÇÜMLERİ .....</b>	<b>41</b>
3.1 ANTEN HÜZMESİNİN DÖNDÜRÜLMESİ .....	41
3.2 SİSTEMİN GÜÇ DÜZEYİ ÖLÇÜMLERİ: .....	44
3.3 TOPLAM ( $\Sigma$ ) VE FARK ( $\Delta$ ) ÖRÜNTÜLERİ .....	46
<b>4. YANKISIZ ODA (ANECCHOIC CHAMBER) TASARIMI .....</b>	<b>48</b>
<b>5. BÜTÇE .....</b>	<b>54</b>
<b>6. SONUÇ .....</b>	<b>55</b>
<b>7. REFERANSLAR .....</b>	<b>56</b>
<b>7. EKLER</b>	
EK-1 SİSTEM ŞEMASI VE FOTOĞRAFLARI .....	60
EK-2 ANTEN .....	64
EK-3 SMT-1, SMT-2 VE SMT- 3 KARTLARININ FOTOĞRAFLARI .....	73
EK-4 VEKTÖR MODÜLATÖR .....	76
EK-5 SİSTEMİN ELEKTRONİK KARTLARI .....	80
EK-6 MALZEME LİSTESİ .....	104

## Şekiller Listesi

Şekil 1 Anten dizisinin üstten görünüş (ölçüler mm cinsinden) .....	4
Şekil 2 Antenin uzak alan uzaklığı hesabı.....	5
Şekil 3 Dizinin E-düzlem ışıma örüntüsü .....	5
Şekil 4 Aktif Eleman Örüntüleri.....	10
Şekil 5 Aktif yansıma katsayıları .....	14
Şekil 6 SMT-1 kartı Frekans indirme birimi devre şeması (A ve B’de HP70000 Spektrum analizör bağlıdır) .....	15
Şekil 7 STM-2 Kartı Devre Şeması .....	17
Şekil 8 SMT-3 kartı devre şeması.....	18
Şekil 9 Strobe için kullanılan devre .....	20
Şekil 10 Kompleks Vektör Modülatör .....	21
Şekil 11 Çıkış voltaj fazının bölgelere göre ayrımı.....	22
Şekil 12 Çıkış voltajının genliği ve fazı.....	22
Şekil 13 İdeal olmayan Vektör modülatör .....	24
Şekil 14 VVA’deki faz hatasının zayıflatma seviyesine göre değişimi .....	25
Şekil 15 Üretilen vektör modüllerin devre elemanları .....	26
Şekil 16 90°’lik hibrid bölücü ve 0°’lik birleştiricideki faz hatalarının düzeltilmesi.....	31
Şekil 17 Anten hüzmesinin döndürülmesi .....	43
Şekil 18 Huni anten .....	44
Şekil 19 İki hüzme oluşumunun test edilmesi için kullanılan düzen.....	44
Şekil 20 Anten sisteminin test edilmesi için hazırlanan düzenek .....	45
Şekil 21 Tek dik dizinin aldığı güç .....	45
Şekil 22 Güç değerlerinin hesaplanması .....	46
Şekil 23 Sekizli dizi.....	46
Şekil 24 Büyük boy mikrodalga soğurucunun boyutları .....	48
Şekil 25 Yankısız odanın tavan ve tabanı.....	48
Şekil 26 Orta Kısım.....	49
Şekil 27 Yan duvarların orta kısımları .....	49
Şekil 28 Ön ve Arka duvarlarda orta kısım .....	50
Şekil 29 Küçük boy mikrodalga soğurucunun boyutları .....	51
Şekil 30 Tavan ve tabanın ön ve arka kısımları .....	51
Şekil 31 Yan duvarların ön ve arka kısımları.....	52
Şekil 32 Yankısız oda .....	53

## Tablo Listesi

Tablo 1 SMT-1 Kartı ölçüm sonuçları (bkz. ....	15
Tablo 2 SMT1 Kartları çıkış güçleri.....	16
Tablo 3 SMT-1 Kartı bilgileri .....	16
Tablo 4 .....	18
Tablo 5 .....	19
Tablo 6 Çift kutuplu faz modulatörleri ile çıkış voltajının fazının ayarlanması .....	22
Tablo 7 Faz hatasının parabolik bir fonksiyon ile yaklaşık olarak ifade edilmesi .....	25
Tablo 8 x ve y kanallarındaki toplam doğal araya girme kaybı ölçüm sonuçları .....	27
Tablo 9 Araya girme kayıpları (minimum ve maksimum zayıflatma konumları) .....	27
Tablo 10 Sayısal zayıflatıcıya ilişkin ölçüm sonuçları .....	28
Tablo 11 Analog zayıflatıcıya ilişkin ölçüm sonuçları .....	30
Tablo 12 Ölçüm yapılan iki kutuplu faz modulatörü konumları .....	31
Tablo 13 İki kutuplu faz modulatörlerinin farklı konumları için elde edilen ölçüm sonuçları .....	32
Tablo 14 1 numaralı VM referans alınarak tek numaralı VM'ler için yapılan ölçümler .....	33
Tablo 15 2 numaralı VM referans alınarak çift numaralı VM'ler için yapılan ölçümler .....	33
Tablo 16 Analog zayıflatıcıya uygulanması gereken voltajın hesaplanmasında kullanılan $a_0$ , $a_1$ , $a_2$ ve $a_3$ değerleri.....	34
Tablo 17 1. Detektör 7906P-S7 1mV/mW duyarlılık (sensitivity).....	39
Tablo 18 2. Detektör 7906P-S7 1mV/mW duyarlılık (sensitivity).....	39
Tablo 19 .....	39
Tablo 20 .....	40
Tablo 21 Narda Detektör 4506 .....	40
Tablo 22 Anteni $-20^\circ$ 'ye döndürmek için hesaplanan değerler .....	41

## ÖZ

Cost 260 projesi kapsamında, uydu iletişimine yönelik 11.49 GHz-11.678 GHz frekans aralığında çalışan, faz taramalı adaptif bir almaç anten sistemi tasarlanmış, üretilmiş ve test edilmiştir. Geliştirilen sistem aynı anda, farklı ya da aynı frekansta iki hüzme oluşturmaktadır. Anten dizisi sekiz adet dörtlü mikroşerit anten dizisinden oluşmaktadır ve her bir dörtlü dizi için ayrı ayrı almaç kanalları tasarlanmıştır. Sinyaller 490 MHz- 678 MHz frekans aralığına indirilerek, genlik ve fazları kompleks vektör modülatör yardımı ile elektronik olarak değiştirilip toplanmak suretiyle hüzme elde edilmektedir. Toplam sinyal ikiye ayrılarak, bir kanallı hüzme kontrolü için diğeri ise uydu sinyalini göstermek için kullanılmaktadır. Yayın kanalında sinyal 1.2 GHz - 1.7 GHz bandına yükseltilerek, bilgisayara monte edilerek standard DVB (Sayısal video yayın - Digital Video Broadcasting) demodülatör/dekoder kartlarına bağlanmaktadır. Tüm kontroller bilgisayar ortamında gerçekleştirilmektedir. Sistem, yüzey monteli (SMD - Surface Mount Device) konektörsüz mikrodalga ve elektronik komponentler ile MIC (Microwave Integrated Circuit) teknolojisine uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Akıllı anten sistemi, gerekli programlar yazıldığında, hüzme tarama, sinyal takip ve yön bulma gibi özelliklere sahip olacaktır. Sistemde iki bağımsız hüzme ve yayın kanalı vardır. Üretilen prototip üzerinde gerekli testler yapılarak sistemin çalıştığı gösterilmiştir.



## **ABSTRACT**

In COST260 project, adaptive phased array receiving antenna system for satellite communication, which operates at 11.49-11.678GHz, has been designed, produced and tested. In the developed system, there are two simultaneous beams. These beams can be formed in the same frequency or two beams may have different frequencies. Array antenna consists of eight microstrip linear arrays of four patches. For each four element linear array, separate receiving channels have been designed. Received signals from each linear array are downconverted to 490-678 MHz band and then amplitudes and phases of these signals are adjusted by vector modulator electronically to produce the required pattern. The total signal is divided into two, one is used to control the pattern and the other one is for monitoring satellite signal. In broadcast channel, signal is upconverted to 1.2-1.7GHz frequency band. Then it is sent to DVB (Digital Video Broadcasting) demodulator/decoder card. System is fully computer controlled. In the production of the system Surface Mount Devices (SMD) and Microwave Integrated Circuit (MIC) technology has been used. This smart antenna system has the abilities of beam steering, tracking, and direction finding providing the necessary computer codes. There are two beam forming and broadcasting channels in the system. The functions of the produced prototype have been tested.

# 1. GİRİŞ

Bu raporda COST 260 Adaptif Anten Dizileri başlıklı araştırma projesinde yapılan tüm çalışmalar sunulmaktadır. Kısım 1’de, tasarlanan ve üretilen sistemin genel olarak bir tanımı yapılmıştır. Daha sonra, sistemin önemli parçaları tek tek ele alınmış ve her birinin tasarlanması, üretimi, test edilmesi ayrıntılarıyla Kısım 2’de anlatılmıştır. Kısım 3’te sistemin çalıştığını görmek için yapılan testler, ölçümler verilmiştir. Bu proje kapsamında, başka projelerden de destek alınarak, anten ölçümlerinde kullanılmak üzere bir yankısız oda yapılmıştır. Yankısız odanın tasarımıyla ilgili bilgiler ise Kısım 4’te sunulmuştur. Projenin Bütçesi ayrıntılı olarak Kısım 5’te verilmiştir. Sistem şeması, sistemin ve parçaların fotoğrafları, yapılan bazı ölçüm sonuçları ve alınan malzemelerin ayrıntılı listesi ise Ek’lerde sunulmuştur.

## 1.1 Sistemin Tanımı

Cost 260 projesi kapsamında, uydu iletişimine yönelik 11.49 GHz-11.678 GHz frekans aralığında çalışan, faz taramalı adaptif bir almaç anten sistemi tasarlanmış, üretilmiş ve test edilmiştir. Geliştirilen sistem aynı anda, farklı ya da aynı frekansta iki hüzme oluşturmaktadır. Anten dizisi sekiz adet dörtlü mikroşerit anten dizisinden oluşmaktadır ve her bir dörtlü dizi için ayrı ayrı almaç kanalları tasarlanmıştır. Sinyaller 490 MHz- 678 MHz frekans aralığına indirilerek, genlik ve fazları kompleks vektör modülatör yardımı ile elektronik olarak değiştirilip toplanmak suretiyle hüzme elde edilmektedir. Toplam sinyal ikiye ayrılarak, bir kanalı hüzme kontrolü için diğeri ise uydu sinyalini göstermek için kullanılmaktadır. Yayın kanalında sinyal 1.2 GHz - 1.7 GHz bandına yükseltilerek, bilgisayara monte edilerek standard DVB (Sayısal video yayın - Digital Video Broadcasting) demodülatör/dekoder kartlarına bağlanmaktadır. Tüm kontroller bilgisayar ortamında gerçekleştirilmektedir. Sistem, yüzey monteli (SMD - Surface Mount Device) konektörsüz mikrodalga ve elektronik komponentler ile MIC (Microwave Integrated Circuit) teknolojisine uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Akıllı anten sistemi, gerekli programlar yazıldığında, hüzme tarama, sinyal takip ve yön bulma gibi özelliklere sahip olacaktır. Sistemde iki bağımsız hüzme ve yayın kanalı vardır.

## 1.2 Sistem Şeması

Yukarıdaki tanıma uygun olarak tasarlanan sistemin şeması Ek1-Şekil1 de verilmiştir. Sekiz adet dörtlü antenden oluşan anten dizisinde her dörtlü dizi için ayrı bir RF/IF modülü düşünülmüştür. 11.49 – 11.678 GHz uydu down-link giriş RF sinyali, antenden sonra LNA (Düşük gürültülü yükselteç – Low Noise Amplifier) ile yükseltilerek karıştırıcıya verilmiştir. 100 MHz kristal kontrollü PLL (Phase Lock Loop), LO (Local osilator-10.7 GHz) da aynı karıştırıcıya verilmiş olup, karıştırıcı çıkışında frekans IF: 490 – 678 MHz (orta frekans bandı- intermediate frequency band) aralığına indirgenmiştir. Filtrelenen ve yükseltile IF sinyali ikiye ayrılarak “Vektör Modülatör” lere gönderilmiştir. Çift kanal olarak tasarlanan sistem için her kanalın ayrı Vektör Modülatörü vardır. Vektör Modülatör çıkışları güç birleştirici ile vektörel olarak toplanarak kanal sinyalleri veya oluşturulan kanala ait hüzmeden gelen sinyal elde edilmiştir.

IF sinyalinin 500-1000 MHz aralığında seçilmesinin nedeni bu frekanslarda teknik özellikleri en uygun malzemelerin kolayca bulunabilmeleridir. Özellikle Vektör Modülatör için kullanılacak olan malzemeler bu frekanslarda en iyi özelliklere sahiptir.

Yayın kanalı ve hüzme kanalı birleşik sinyalleri de ikiye ayrılmıştır. Bir kol hüzme kontrolü için kullanılırken diğer kol da frekansı yükseltildikten sonra standart Sayısal Uydu alıcı kartına gitmektedir. Bu kanal yayın kanalı olarak tanımlanmıştır.

Hüzme kontrol kanalı sinyalleri (490 – 678 MHz) modülasyon band genişliğine uygun band genişliği olan ve sayısal olarak merkez frekansı kontrol edilebilen filtrelerden geçirildikten sonra yükseltip rektifiye edilerek DC'ye (doğru akım) çevrilmekte ve A/D (analogtan sayısala) çeviriciye verilmektedir. Bu noktadaki sayısal sinyal değerleri hüzmenin kontrolü için kullanılacaktır.

Sayısal yayın kanalları standart L-Band (950-2150 MHz) girişli olup, standard DVB MPEG –2 / QPSK/FEC standardındadır. Bu sebeble yayın kanalı 490 – 678 MHz'den 1190-1378 MHz'e çıkarılmıştır. Sistemin çalışma band genişliği 500 MHz olarak tasarlanmıştır. Bu seçim mevcut RF malzemelerinin bandı tarafından belirlenmiştir. Frekansı yükseltmek için 100 MHz kristal kontrollü 700 MHz osilatörü LO olarak kullanılmaktadır. Karıştırıcı çıkışı filtrelenip yükseltildikten sonra DVB sayısal uydu alıcı (digital Sattelite Receiver) kartlarına gönderilecektir. DVB kartları tüm sistemi kontrol edecek olan bilgisayarın PCI slot'larına monte edilerek uydu yayınlarının bilgisayardan alınması mümkün olacaktır.

Sistemin çalıştığını gösteren birçok test/ölçüm yapılmış ve bunlar Kısım 3'de anlatılmıştır.

Hüzme kanalı dinamik seviye aralığı (Dynamic range) 50 dB dir, yayın kanalı dinamik aralığı ise 57 dB'dir. Dinamik aralık hesaplamaları ayrıntılı olarak 1. Gelişme raporunda verilmiştir.

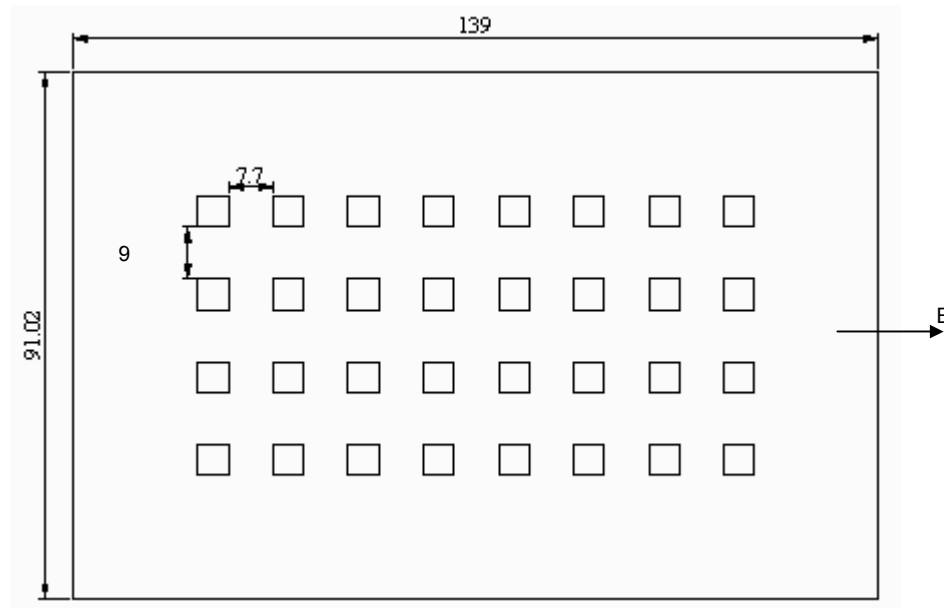
## 2. GELİŞTİRİLEN SİSTEMİN KISIMLARI

Bu bölümde geliştirilen anten sisteminin belli baslı kısımları ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Sırasıyla sistemin

1. Anten tasarımı ve üretimi
  2. RF-IF1 frekans indirme kartları (SMT-1)
  3. IF1-IF2 frekans yükseltme kartı (SMT-2)
  4. IF1-DC Hüzme seviye kartı (SMT-3)
  5. Vektör Modulatör kartı
  6. Elektronik tasarım ve üretim kısımları
- detaylı olarak anlatılacaktır.

### 2.1 Anten Tasarımı ve Üretimi

Anten dizisi, Şekil 1’de görüldüğü gibi, sekiz adet dörtlü mikroşerit anten dizisinden oluşmaktadır. Anten dizisini oluşturan anten elemanları yarık (slot) beslemeli (coupled) mikroşerit (microstrip) anten dizileridir. Herbir 4’lü mikroşerit anten dizisi 3 tabakadan oluşmaktadır. Birincisi, üzerinde mikroşerit antenleri bulunduran tabakadır. İkinci tabakanın bir yüzeyinde yarıklar, diğer yüzeyinde ise mikroşerit hatlar vardır. Bu nedenle bu tabaka Ek 2’de Şekil 3’de iki parça olarak gösterilmiştir. Son tabaka ise bir yüzeyi metal kaplı olan 3.4 mm yüksekliğinde Rexolite 1422 malzemesinden yapılmıştır. Antenin konfigürasyonu Ek 2’de Şekil 3’de verilmiştir. Ek 2-Şekil 4’de ise antenlerin, yarıkların ve mikroşerit hatların boyutları verilmiştir. Ek 2 Şekil 6-11’de dörtlü dizinin tüm katmanlarının fotoğrafları ayrı ayrı sunulmuştur.



### Şekil 1 Anten dizisinin üstten görünüş (ölçüler mm cinsinden)

İkinci tabakada yer alan mikroşerit hatlar bu karta dik olarak bağlanan, Ek2-Şekil 4'de mm cinsinden boyutları verilen bir kartla beslenir. Bu kart için yüksekliği 0.81 mm olan RO 4003 malzemesi kullanılmıştır.

Antenin üretiminde kullanılan dielektrik malzemeler, RO 4003 ve Rexolite 1422'nin özellikleri aşağıda verilmiştir.

#### RO 4003

Dielektrik sabiti  $\epsilon_r = 3.38$

$\tan \delta = 0.0022$

#### Rexolite 1422

Dielektrik sabiti  $\epsilon_r = 2.54$

$\tan \delta = 0.0006$

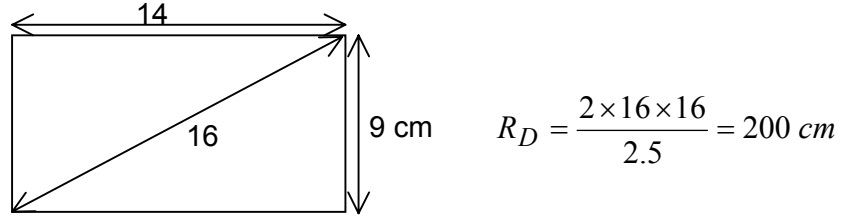
Mikroşerit antenler yarıklar vasıtasıyla, yarıklar ise mikroşerit hatlarla beslenmektedir. Tek bir antenin empedansının kompleks kısmı, mikroşerit hattın yarıktan sonraki açık devre uzantısı ile (open-circuited stub), reel kısmı ise yarık ve yarığın pozisyonu ile eşlenir. Antenleri birbirine bağlayan mikroşerit hatlar aynı zamanda dizinin empedans uyumunu sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Ek 2-Şekil 4'de görüldüğü gibi kenardaki yarıkların genişliği diğer iki yarığa oranla daha azdır. Bunun sebebi kenardaki mikroşerit antenlerin ortadakilere göre düşük seviyede beslenerek, istenen besleme dağılımının elde edilmesinin sağlanmasıdır. Bu dağılım anten ışıma örüntüsünün yan demet seviyelerini birbiriyle (uniform) dağılıma göre 3-4 dB düşürmektedir. Yarıklar iki tarafa da yayın yapmaktadırlar. Bu uygulamada geriye yayın istenmediğinden, geriye yayın yapılmasını engellemek için, bir yüzeyi metalle kaplı olan rexolite tabaka kullanılmıştır.

Bir adet 4'lü yarık beslemeli mikroşerit anten dizisi tasarlanıp, üretilmiş ve ölçülmüştür. Dörtlü anten dizisinin simulasyon sonucu elde edilen ışıma örüntüleri ise Ek 2-Şekil 12'de verilmiştir. Ek 2-Şekil 13-16'da ise tüm antenin simulasyon sonucu elde edilen ışıma örüntüleri E ve H düzlemde ve farklı faz açıları için verilmiştir.

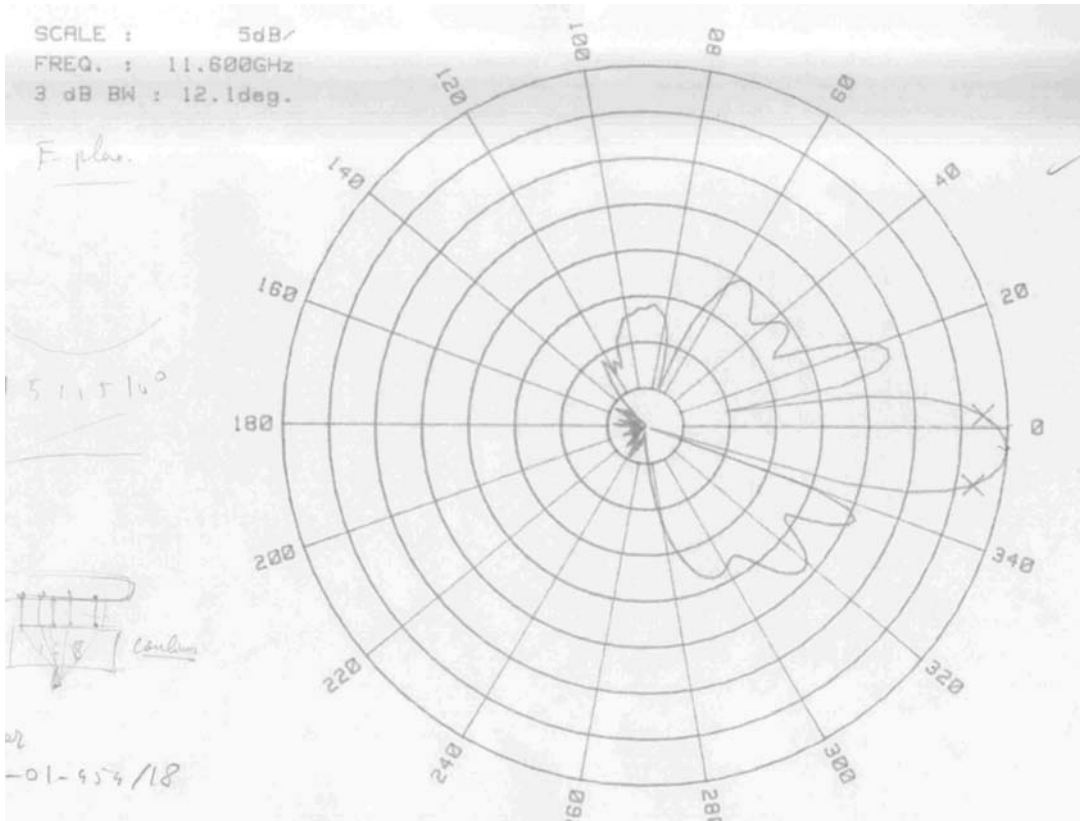
Anten dizisinin tamamı üretilerek ölçümler yapılmıştır. Anten dizisinin tümünün fotoğrafı Ek2-Şekil 17'de verilmiştir. Şekil 3'de tüm dizinin E ışıma örüntüsü verilmiştir. Şekilde hüzme sıfır dereceye göre biraz kayık olarak gözükmemektedir. Bunun nedeni, sistemdeki kablo ve komponentlerin verdiği fazlardır. Sistem kalibre edildiği zaman bu kayıklık ortadan kalkacaktır.

Şekil 4'de ise her bir dörtlü dizi için aktif eleman örüntüleri verilmiştir. Aktif eleman örüntüsü elde etmek için bir adet dörtlü dizi dışında kalan diğer elemanlar uyumlu yük (matched load) ile sonlandırılmış yalnızca o eleman (4'lü dizi) beslenmiş ve ışıma örüntüsü

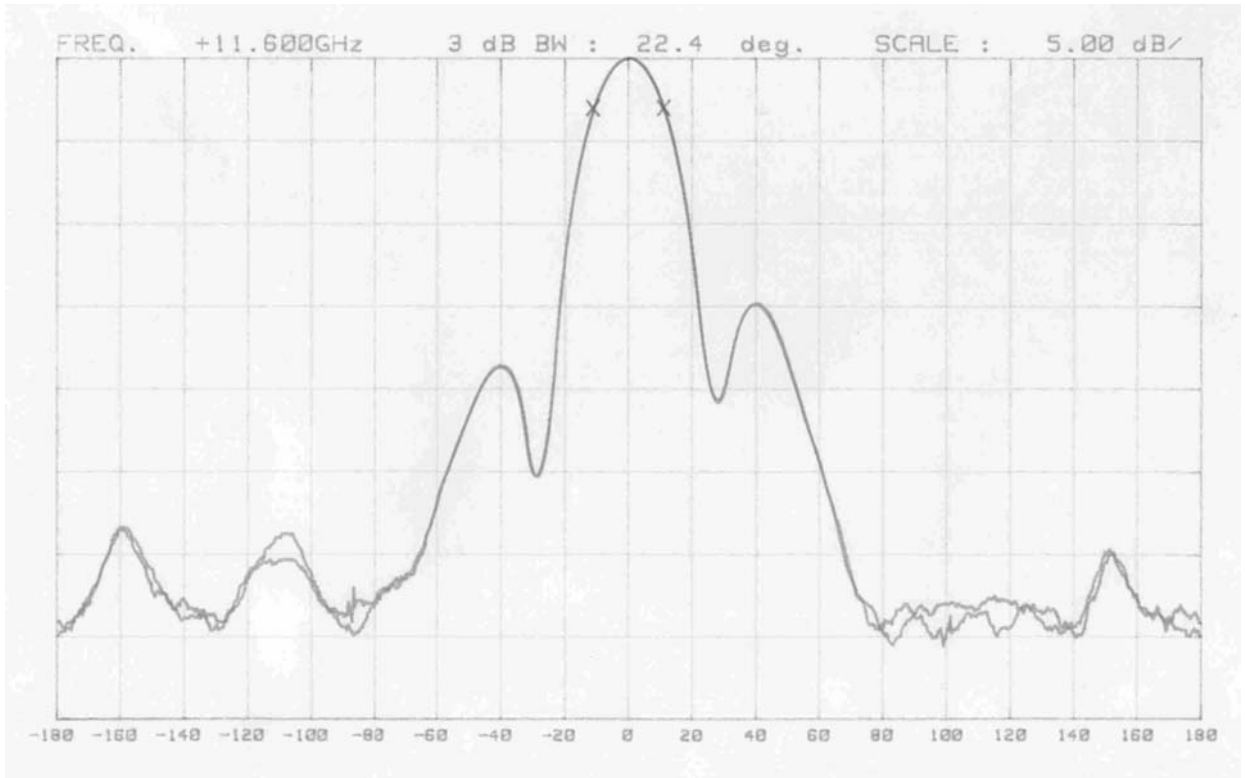
ölçülmüştür. Aktif yansıma katsayısı ölçüm sonuçları da Şekil 5'de gösterilmektedir. Antenin uzak alan uzaklığı 2 metre olarak hesaplanmıştır (bknz. Şekil 2)



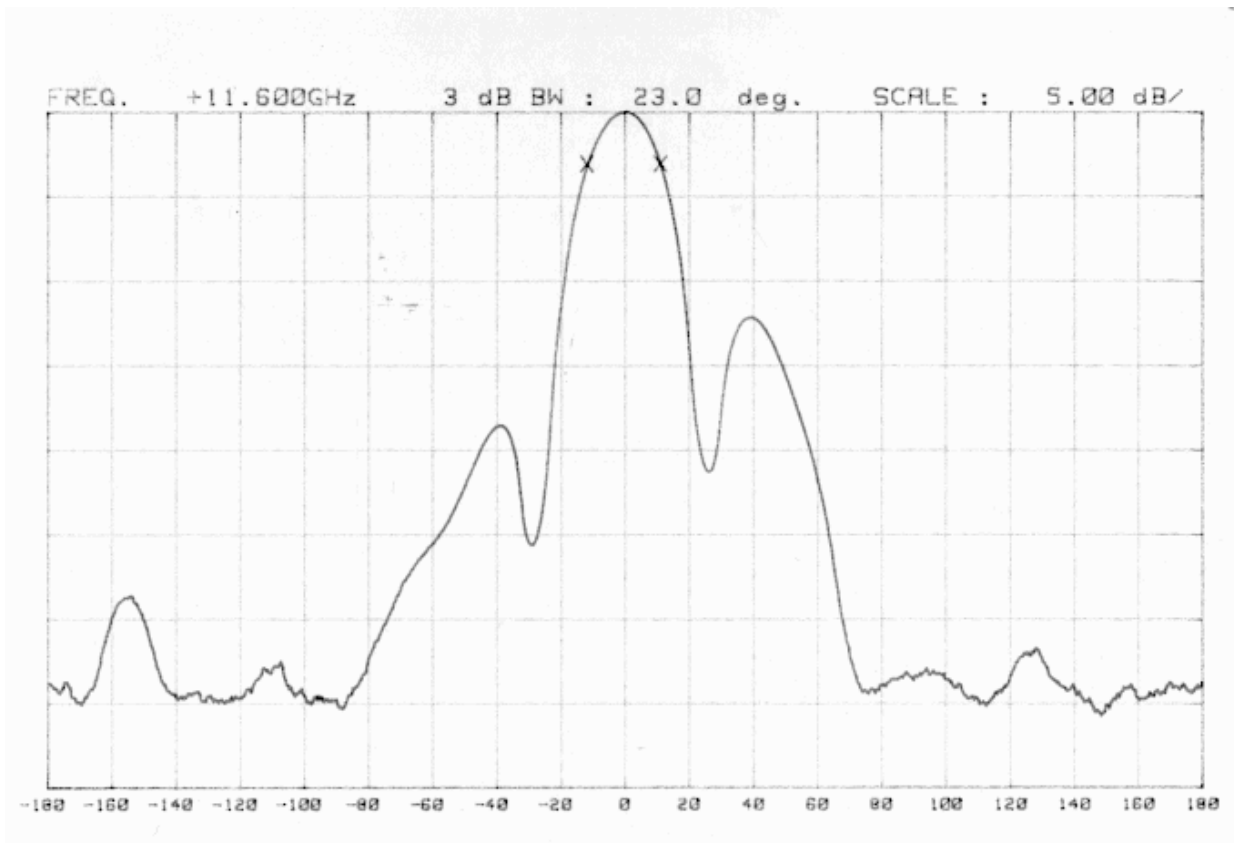
Şekil 2 Antenin uzak alan uzaklığı hesabı



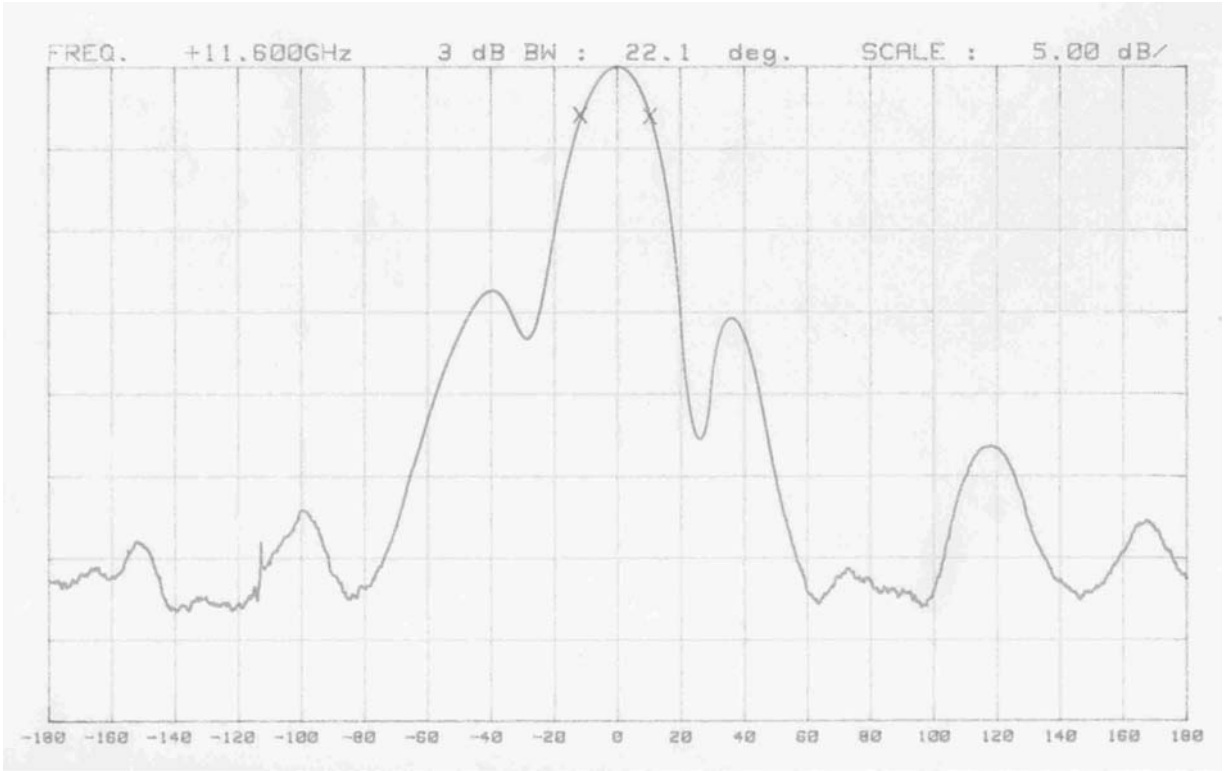
Şekil 3 Dizinin E-düzlem ışıma örüntüsü



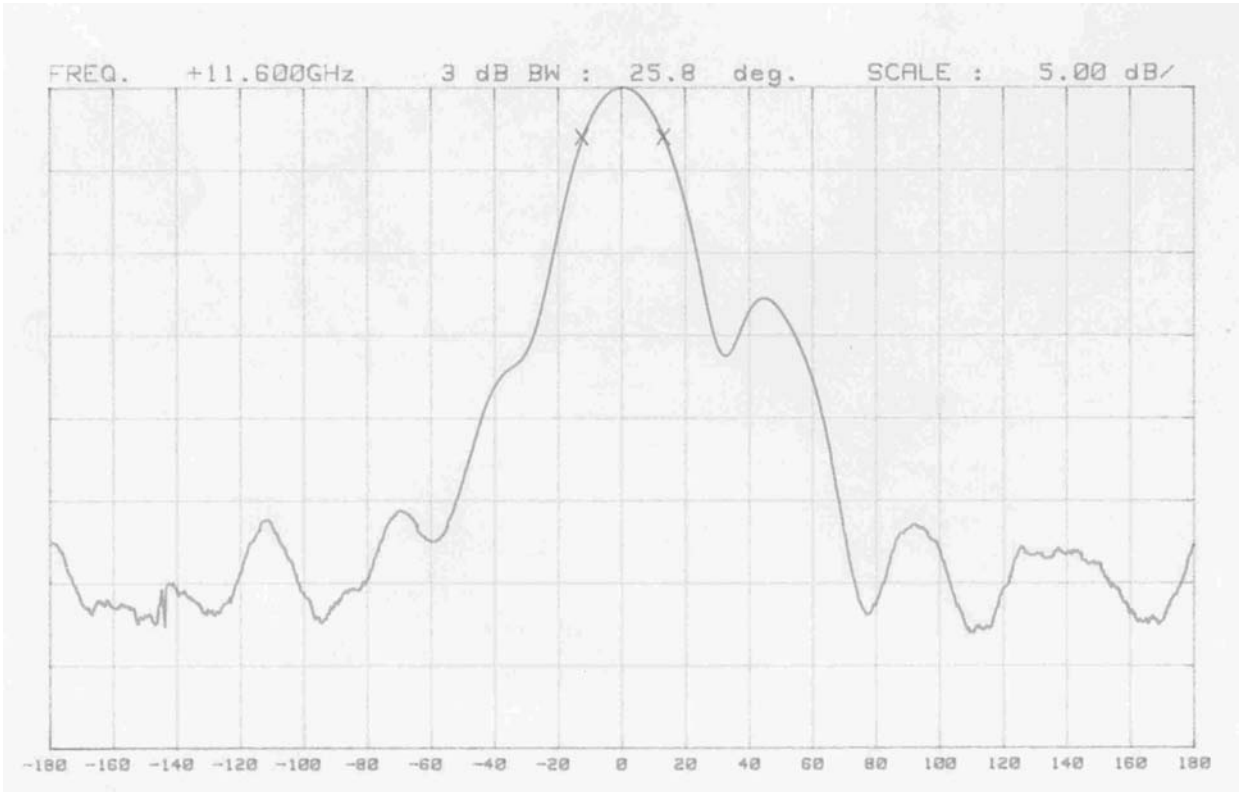
(a) Birinci anten aktif



(b) İkinci anten aktif

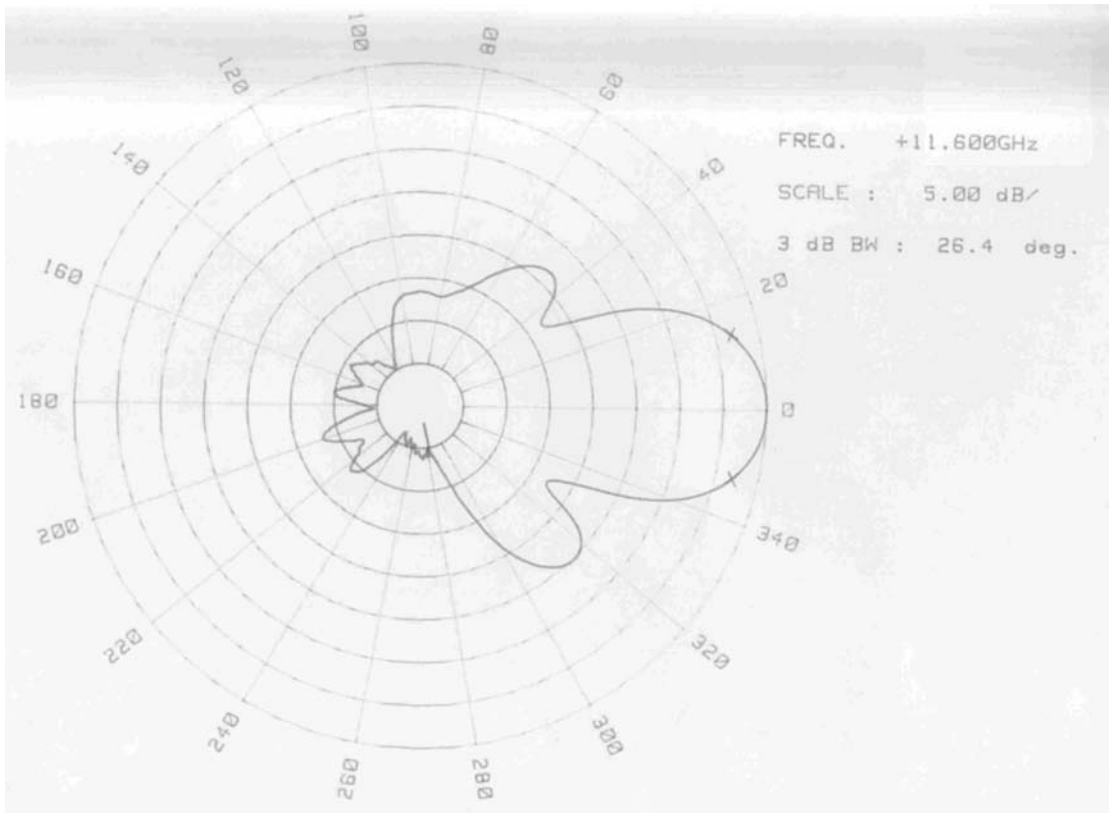
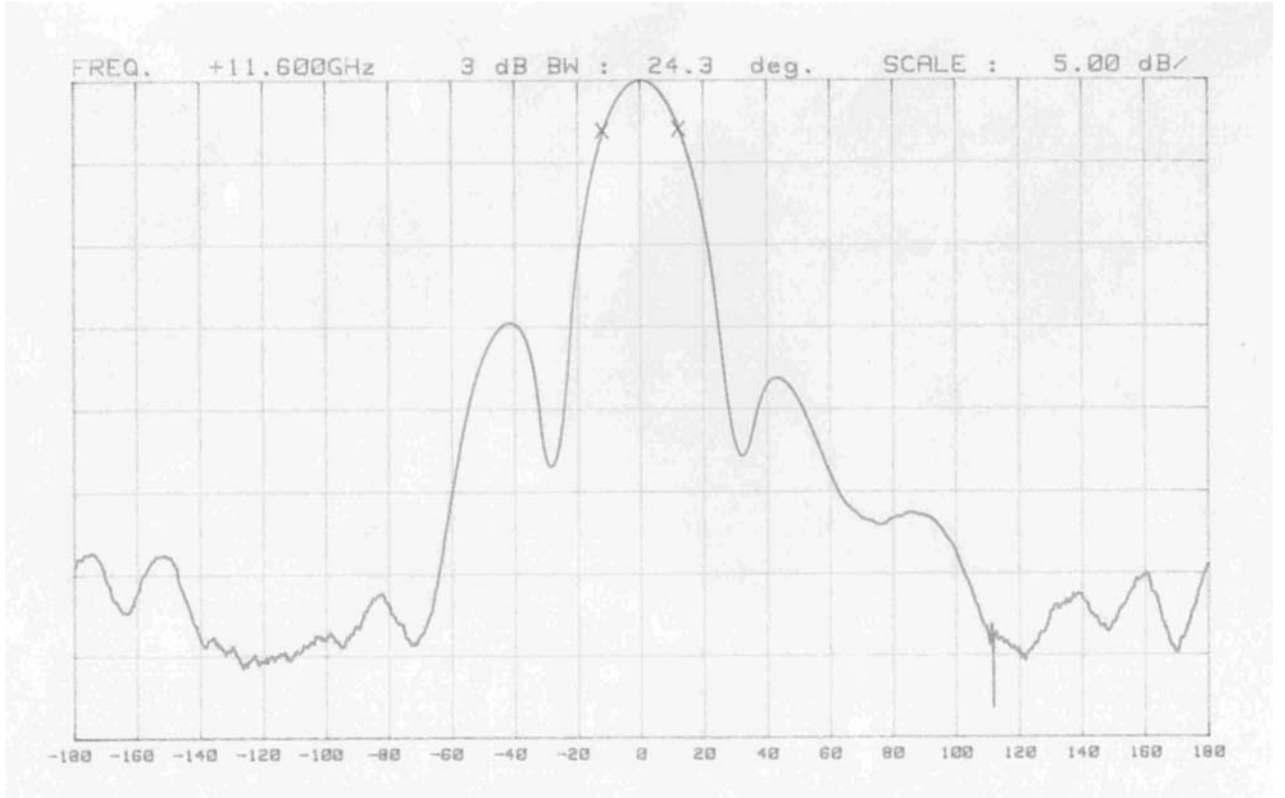


c) Üçüncü anten aktif

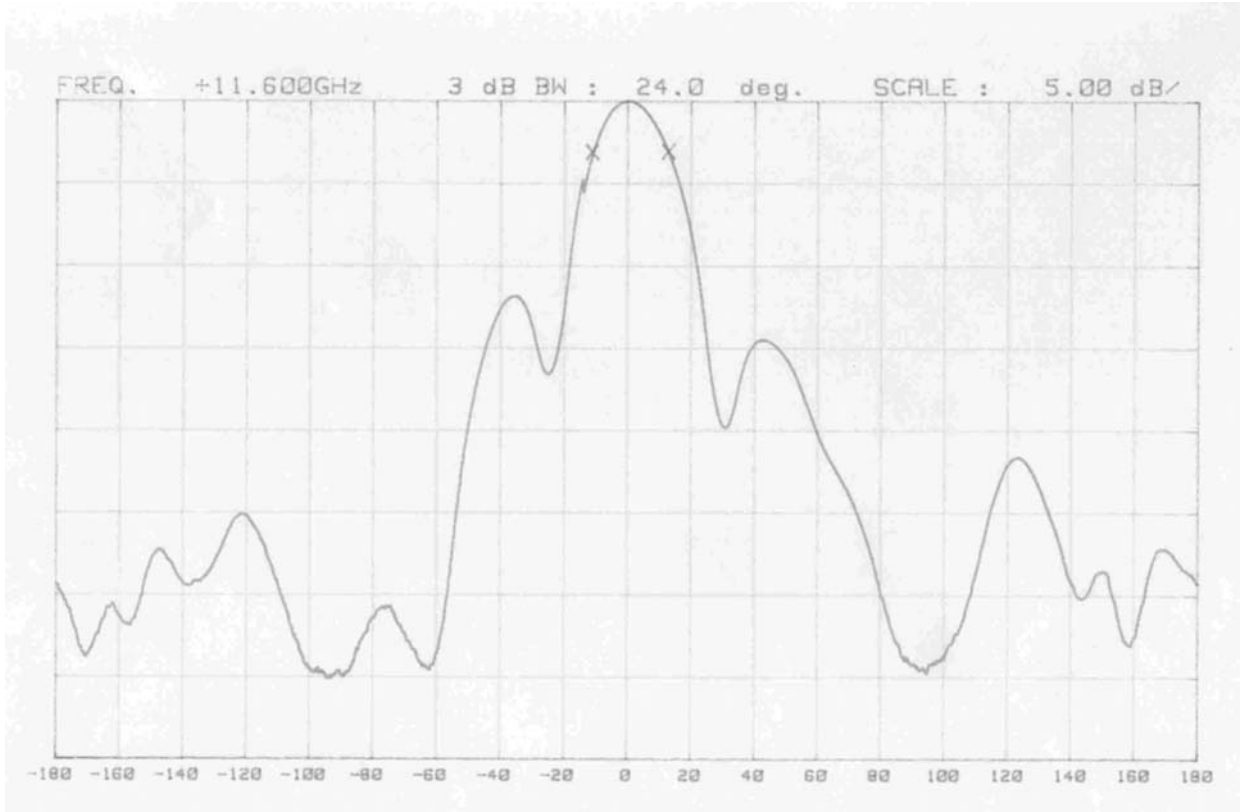


(d) Dördüncü anten aktif

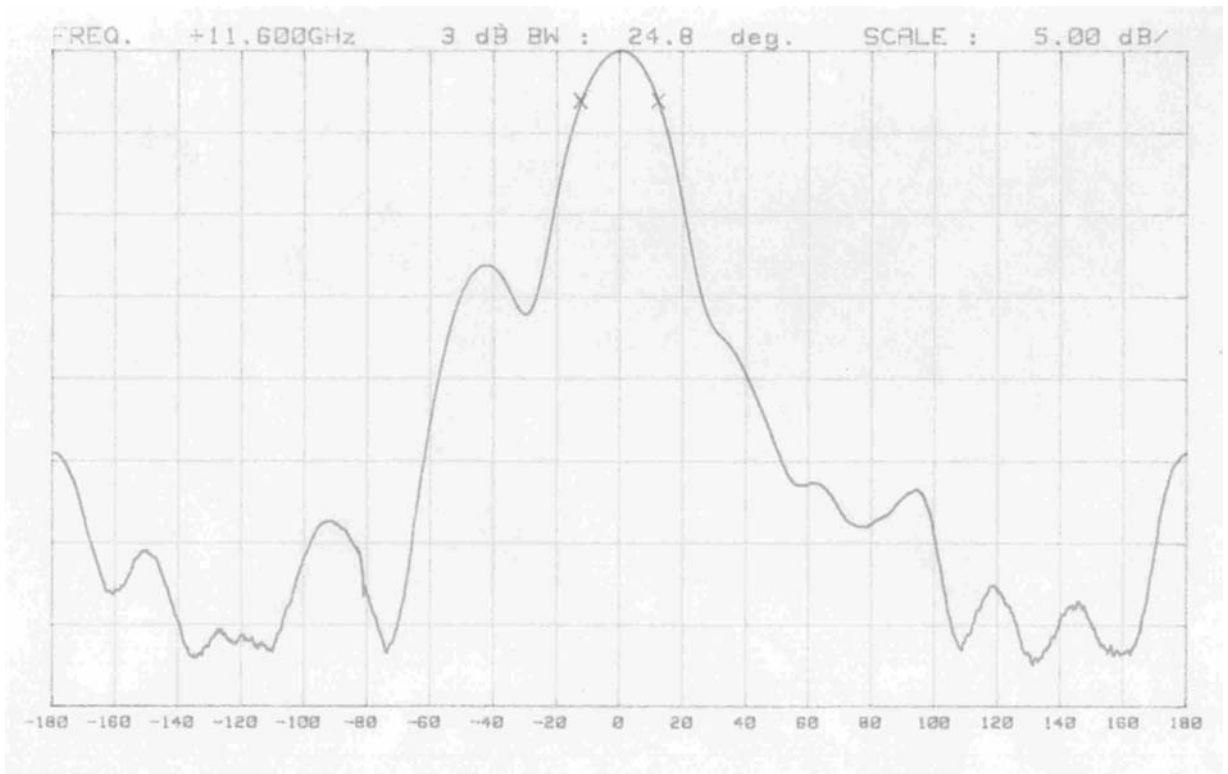




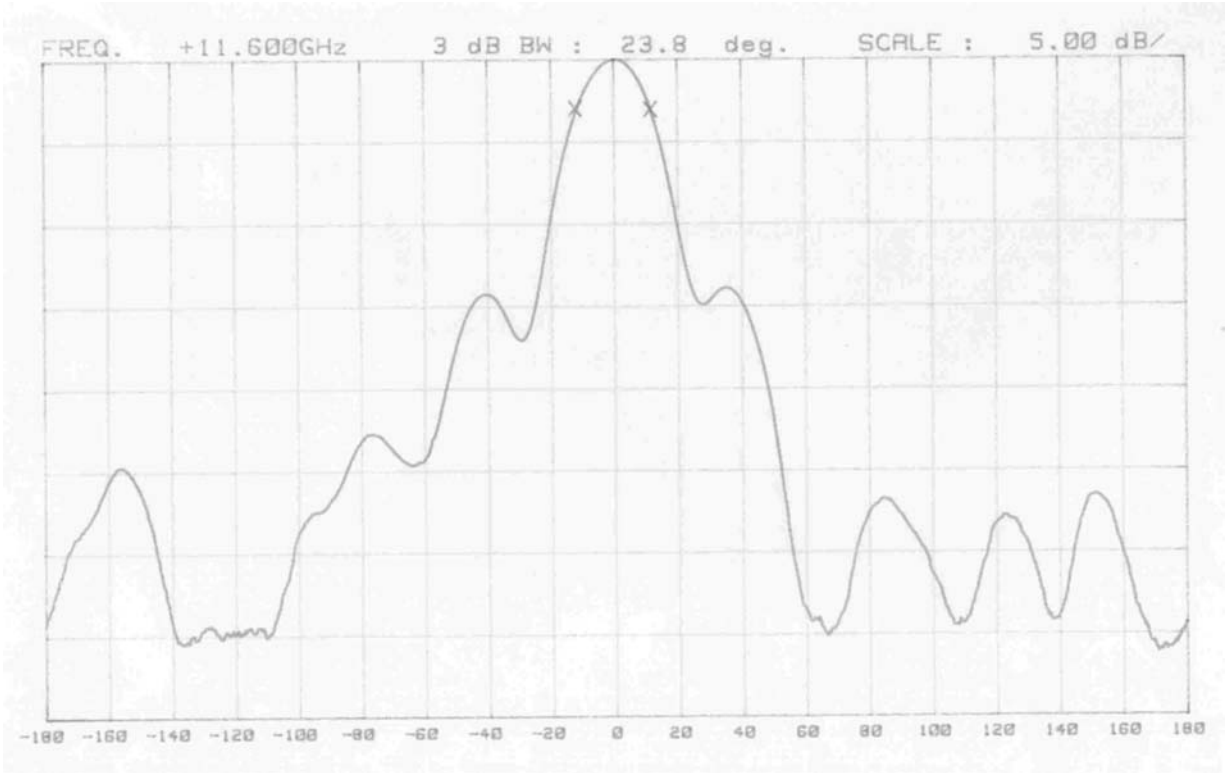
(e) Beşinci anten aktif



(f) Altinci anten aktif

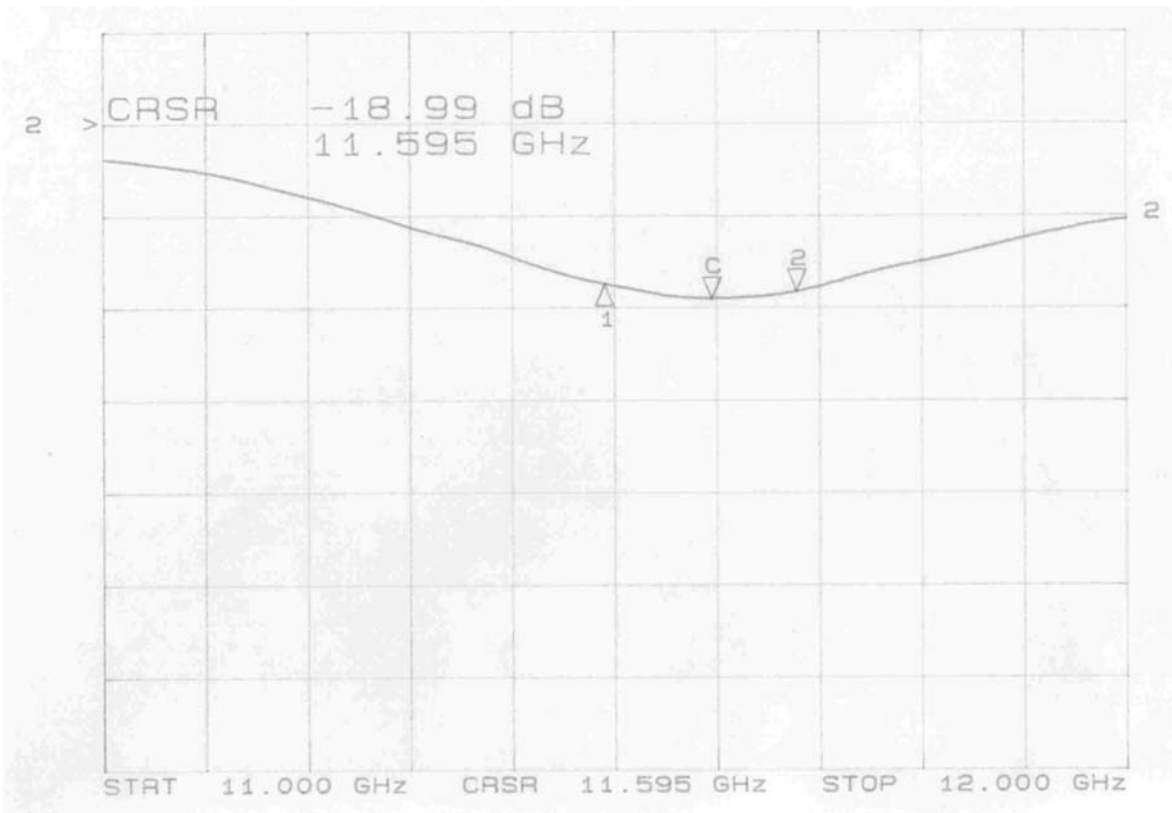


(g) Yedinci anten aktif

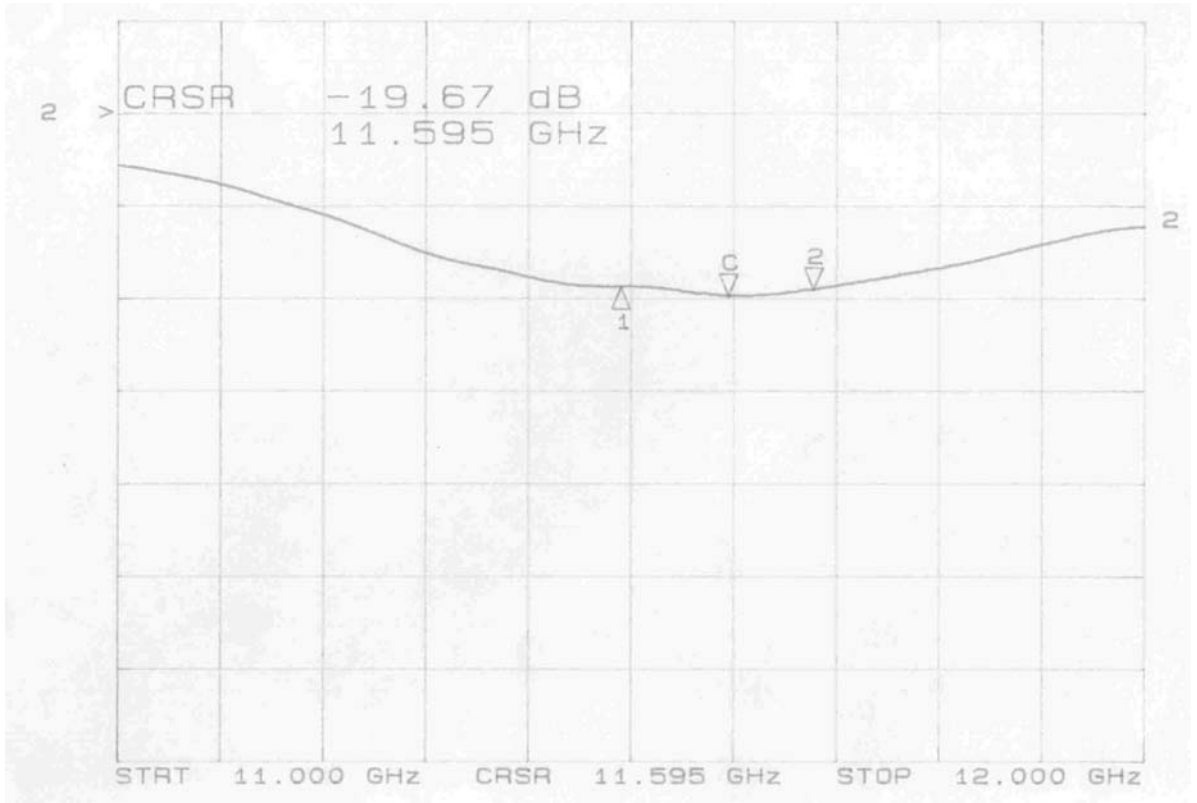


(h) Sekizinci Anten aktif

Şekil 4 Aktif Eleman Örüntüleri



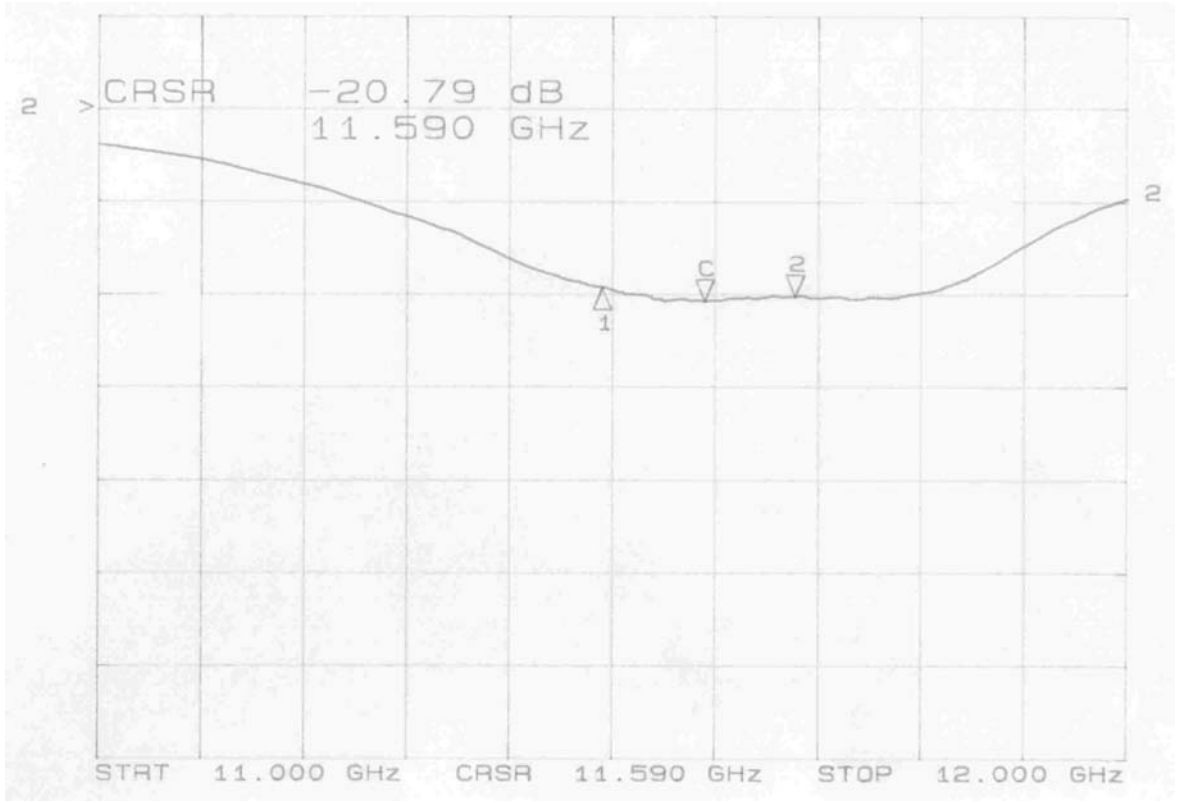
(f) Birinci anten



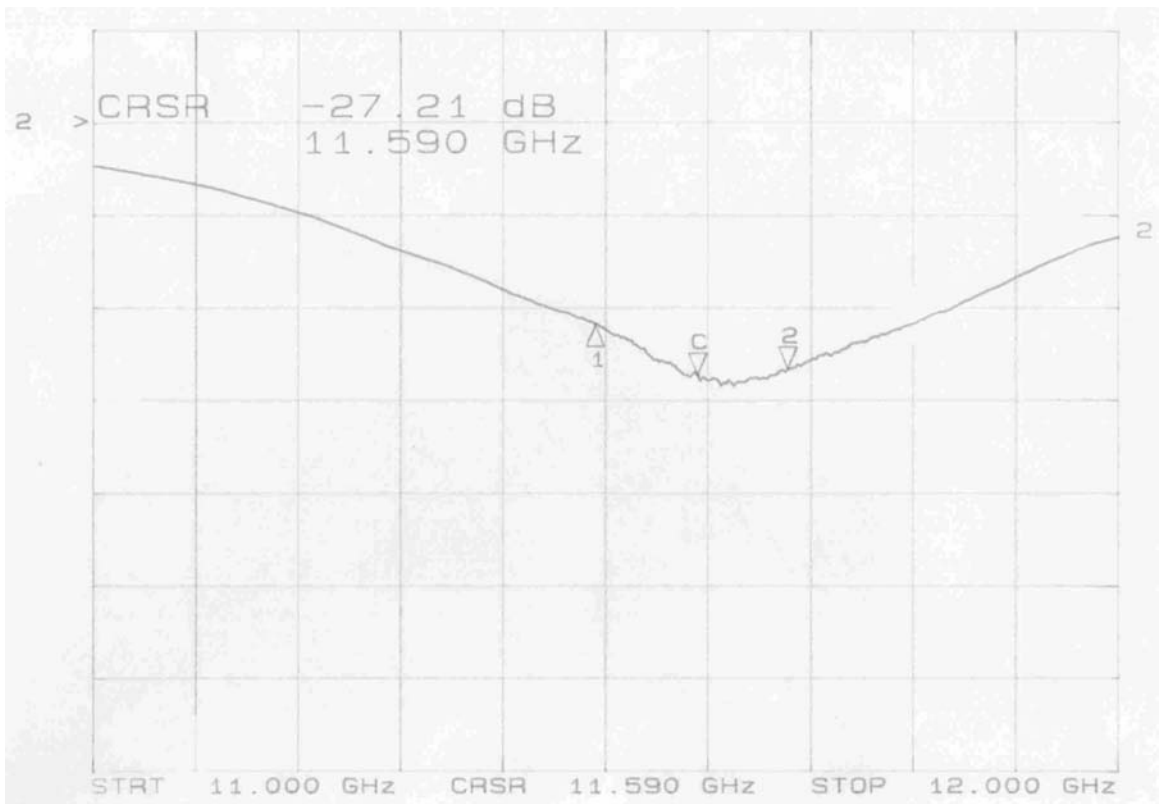
(f) İkinci anten



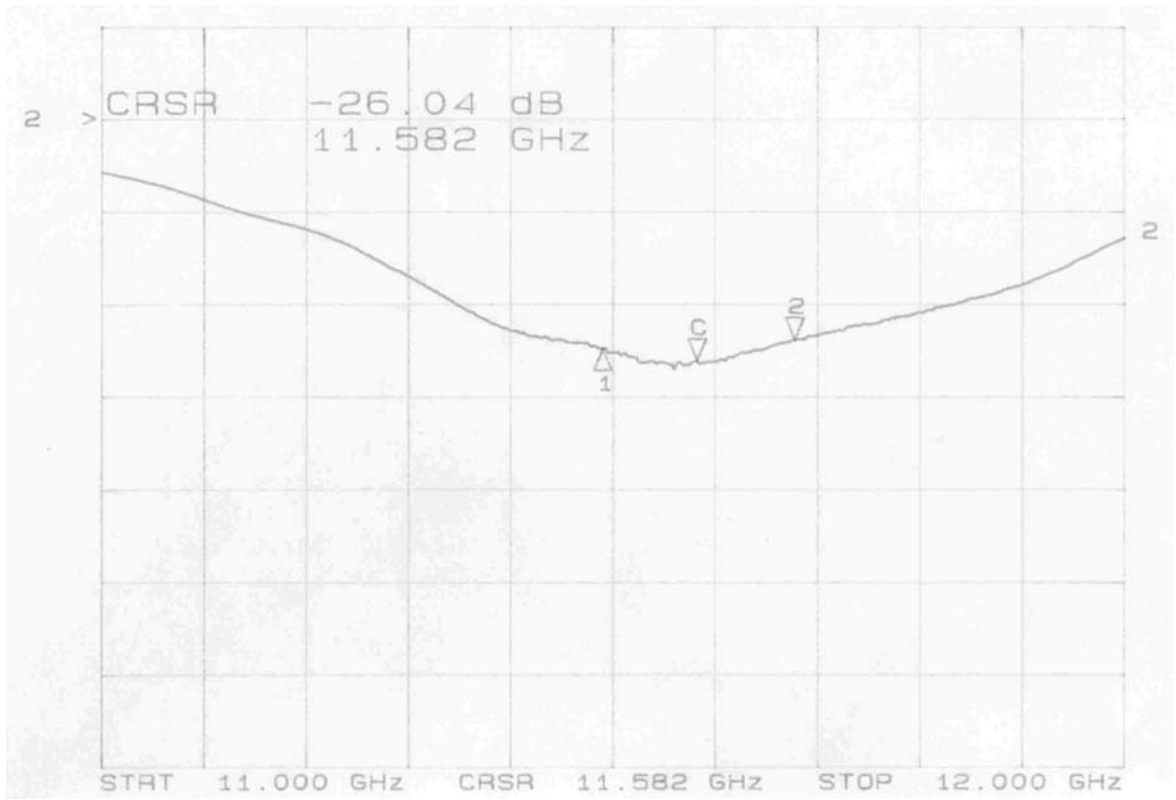
(f) Üçüncü Anten



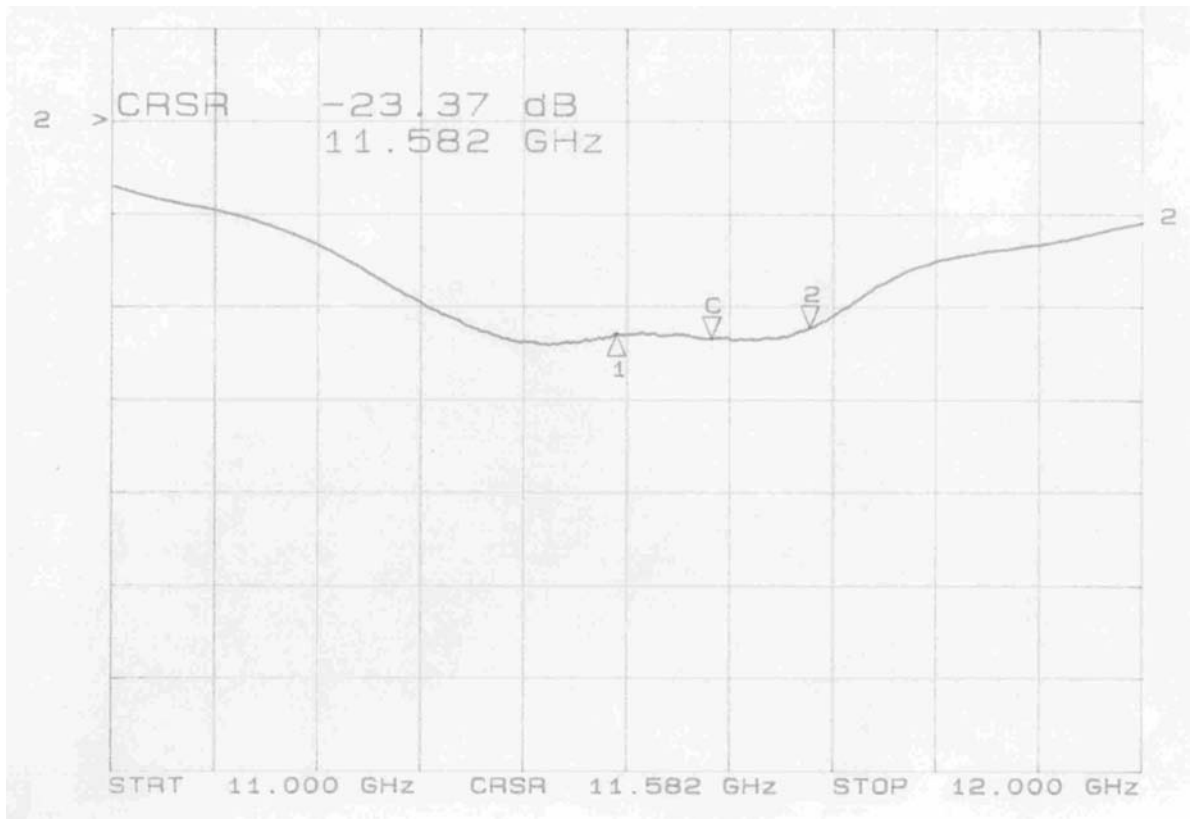
(d) Dördüncü anten



(e) Beşinci anten



(f) Altinci Anten



(g) Yedinci anten

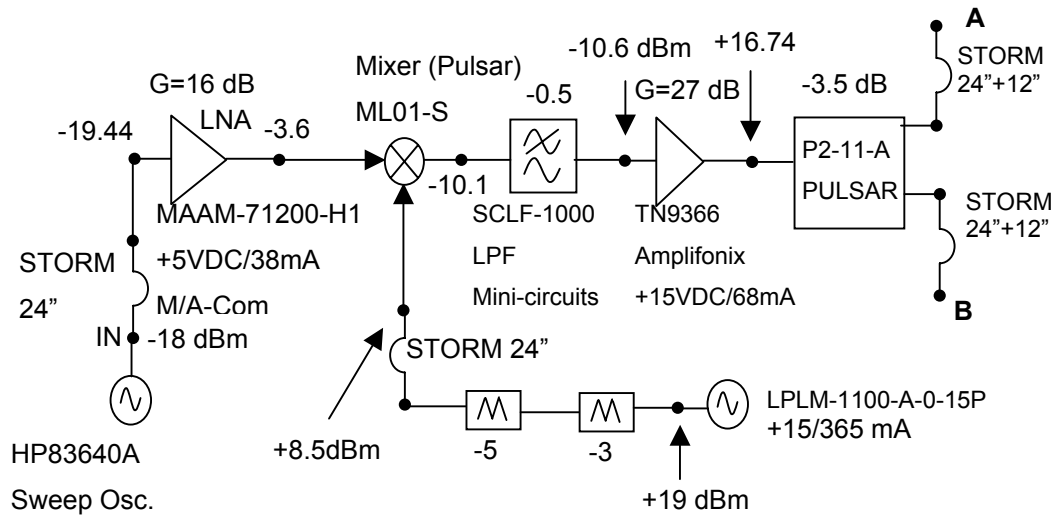


(h) Sekizinci anten

Şekil 5 Aktif yansıma katsayıları

## 2.2 SMT-1 RF-IF1 Frekans İndirme Kartı

Ek-1’de görülen sistem şemasında SMT-1 giriş frekanslarını 11490-11678 MHz (Uydu alıcı bandı), 490-678 MHz IF1 bandına indirgeyen birimdir. SMD (Surface Mount Device) teknolojisi ile gerçekleştirilen bu birimin bir fotoğrafı Ek-3-Şekil18’de verilmiştir. Bu karttan her dörtlü anten dizisi için bir adet olmak üzere, 8 adet gereklidir. Önce SMT-1’den bir adet yapılarak test edilmiş ve sonra da 7 adet daha üretilmiştir.Şekil 6’da (SMT-1) kartında frekans indirme biriminin devre şeması verilmiştir.



Şekil 6 SMT-1 kartı Frekans indirme birimi devre şeması (A ve B’de HP70000 Spektrum analizör bağlıdır)

Şekil 6 ’da A, B çıkışları HP70000 spektrum analizör ile ölçülmüş ve ölçüm sonuçları aşağıda Tablo 1’de verilmiştir. Sekiz adet SMT-1 kartı ölçülmüş ve çıkış uçlarındaki (A veya B’deki) fark  $\pm 0.5$  dB olarak belirlenmiştir. 11.49 GHz’de, giriş gücü  $-18$  dBm olarak verildiğinde, sekiz SMT1 kartının çıkış güçleri ölçülmüş ve Tablo 2’de verilmiştir. Bu ölçümlerde SMT1 kartının girişi HP 83640A sinyal jeneratörüne 21” kablo ile, çıkışlar ise HP7000 Spektrum analizöre 32” storm kablo ile bağlanmıştır.

Tablo 1 SMT-1 Kartı ölçüm sonuçları (bkz.

Şekil 6)

$f_{IN}$ (MHz)	$P_{IN}$ (dBm)	$P_A$ (dBm)	$P_B$ (dBm)	$f_{A,B}$ (MHz)
11490	-18.0	11.44	12.40	490
11678	-18.0	11.56	11.56	678



*Tablo 2 SMT1 Kartları çıkış güçleri*

#	1	2	3	4	5	6	7	8
P <sub>out</sub> (dBm)	12	11	10.5	11.2	10.6	11.2	11	10.2

SMT-1 kartı ile ilgili bilgiler Tablo 3’de verilmiştir.

*Tablo 3 SMT-1 Kartı bilgileri*

Kart boyutları	53.5mm x 130 mm x 0.5 mm
Malzeme	RO4003, h=0.02”=0.51 mm, 35 micron ED $\epsilon=3.38^\circ$ , $\tan\delta=0.027$ 50 $\Omega$ hat genişliği=1.17 mm
Konnektörler	RF,LO: Suhner: 23SMA-50-0-12 2xIF: Suhner:23SMA-50-0-2/111NE

SMT-1’in RF-PCB (baskı devre kartı - printed circuit board) şeması III. Gelişme Raporunda disket içinde verilmiştir.

MITEQ/XTO-100-J-15P kristal osilatör ve LPLM-11000-A-0-15P (PLL:phase lock loop) osilatör ayrı ayrı test edilmiş, harmonikleri belirlenmiştir. İlgili test devreleri ve ölçüm sonuçları III. Gelişme Raporunda verilmiştir.

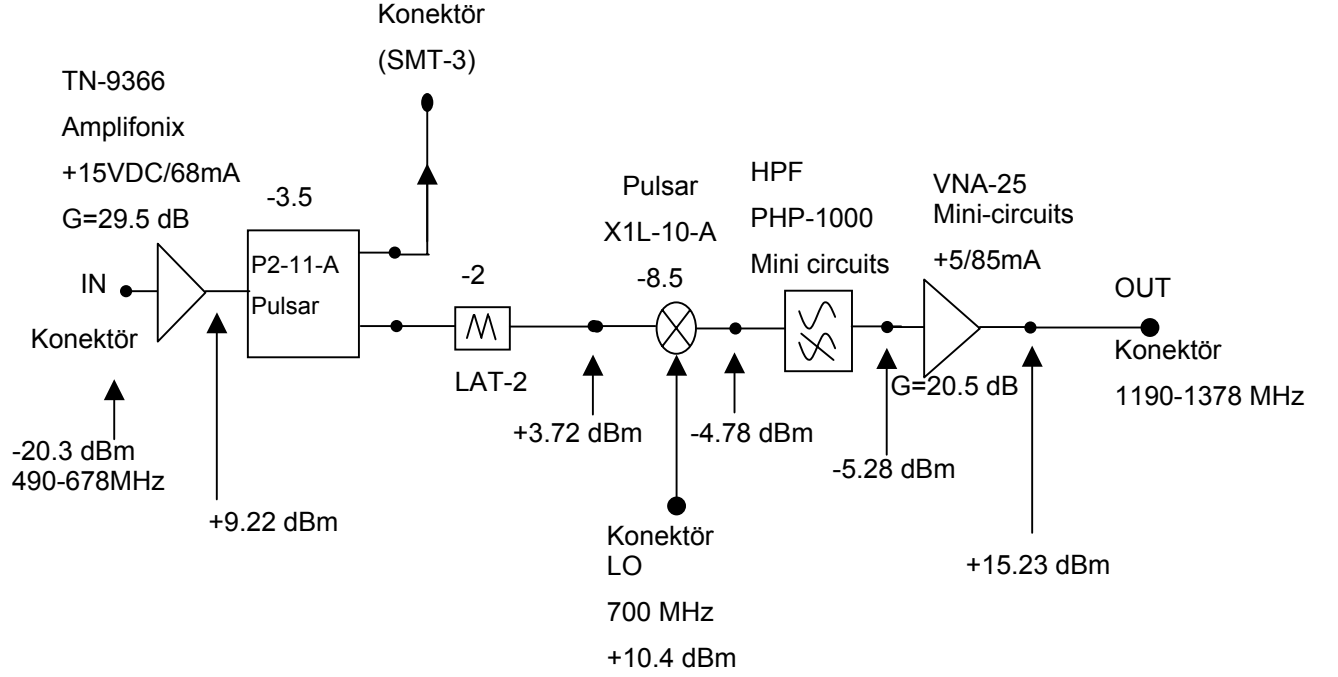
TN9366 Yükselteç için “soğutucu (Heat Sink)” gereklidir. SMT-1 kartında, LNA (MAAM-71200-H1) ve karıştırıcı (Mixer - ML01-S) için pirinç malzemeden taşıyıcı yapılmıştır. Taşıyıcılar, LNA ve Mixer’in toprak bağlantılarını sağlamak ve RF ve DC bağlantı uçlarını PCB (baskı devre kartı) ile aynı düzeye getirmek için gereklidir. Bu taşıyıcılar PCB’ye lehimlenmek suretiyle monte edilmişlerdir.

#### SMT-1 Kartları Arasındaki Karşılıklı Etkileşim (Mutual Coupling)

8 adet SMT-1 kartı aralarında 1.5 cm aralıkla birbirine paralel olarak monte edilmiştir. Açık mikroşerit tekniği ile yapılan bu kartlar arasında elektromanyetik enterferans (EMI) yolu ile bir etkileşim vardır. Bu etkileşim, antenlerin fazlandırılmasını bozacağı için azaltılmalıdır. Kartlar arasına elastiki metal (aliminum) koymak suretiyle birbirine komşu iki kart arasındaki etkileşim <-30 dB maksimum olacak şekilde azaltılmıştır.

### 2.3 SMT-2 Frekans Yükseltme Kartı

Ek-1'deki sistem şemasında STM-2 kartı  $f_{IN}=490\text{-}678\text{ MHz}$  girişi,  $f_{OUT}=1190\text{-}1378\text{ MHz}$  bandına aktarmak suretiyle, modülasyonlu standard L-bandı çıkışı elde edilmektedir. Şekil 7'de STM-2 kartının bir kanalı verilmiştir.



Şekil 7 STM-2 Kartı Devre Şeması

Konektörler: IN, OUT: Suhner 23-SMA-50-0-152 LO : Suhner 23 SMA-50-0-1

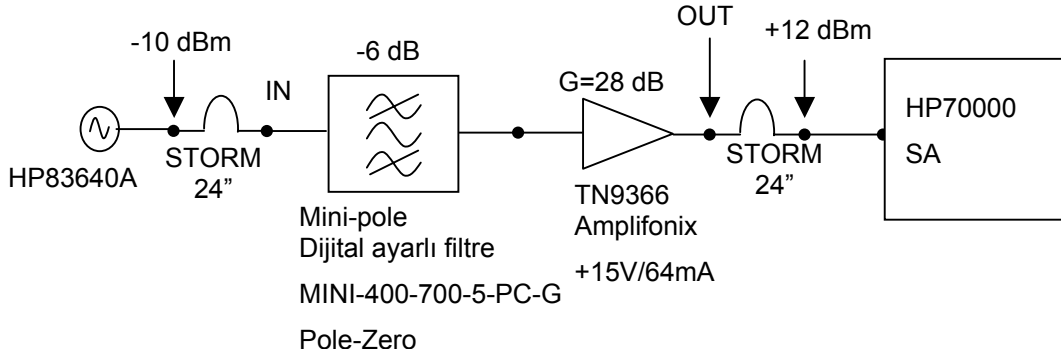
SMT-2 kartının fotoğrafı Ek3-Şekil19'da verilmiştir. TN-9366 giriş yükselteçleri için "heat sink" kullanılmıştır. SMT-2 kartının çektiği toplam akımlar 2xTN-9366 için  $+15\text{V}/2 \times 68\text{mA} = +15/136\text{ mA}$  ve 2xVNA-25 için  $+5/2 \times 64\text{ mA} = +5/128\text{ mA}$ 'dir. Yapılan ölçmelerde aşağıdaki giriş/çıkış güçleri elde edilmiştir:

Giriş:  $P_{in} = -20\text{ dBm}$ , 500 MHz'de

Çıkış:  $P_{out} = +13\text{ dBm}$ , 1200 MHz'de

### 2.4 SMT-3 Hüzme Kartı

SMT-3 kartı anten hüzme kontrolü amacıyla, A ve B kanalları için hüzme seviyelerini bilgisayara aktarmak için kullanılacaktır. SMT-3 kartının devre şeması Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8 SMT-3 kartı devre şeması

SMT-3 kartında Şekil 8'deki devreden iki adet vardır. Mini-pole filtre, 8 bit dijital kontrollü olup  $-3\text{dB BW} = (4 \pm 0.5) \%$  ve  $\text{I.L.} = -5.5 \text{ dB} \pm 0.8 \text{ dB}$  dir. Merkez frekansı  $f=400\text{--}700 \text{ MHz}$  arasında herhangi bir değere kaydırılabilir. Merkez frekans ile dijital giriş adresi arasındaki ilişki aşağıdaki formül ile verilmiştir.

$$\text{Bit adres} = \left[ \frac{f-400}{700-400} \times 250 \rightarrow \text{Binary} \right]$$

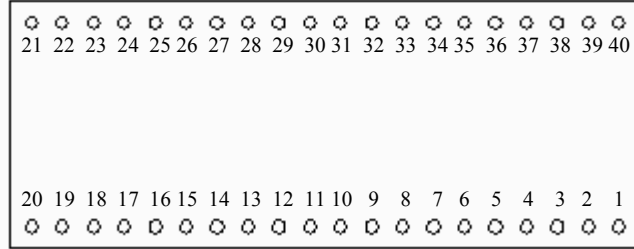
Tablo 4

f (MHz)	Bit Adres
600	1 0 1 0 0 1 1 1
650	1 1 0 1 0 0 0 0
410	0 0 0 0 1 0 0 0
699	1 1 1 1 1 0 0 1

Mini-pole filtre 42 pin uçlu PCB'ye monte edilebilen dijital kontrollü bir filtredir. Filtrenin ayarlı uçlarının bağlantıları Tablo 5'de verilmiştir.  $V_{cc}=+5 \text{ VDC}$ 'dir. Bit adres durumuna göre akım  $10 \text{ mA} \rightarrow 200 \text{ mA}$  çekebilmektedir.  $+5 \text{ V}$  kritik olup max. 6 volt olacaktır.  $V_{cc}$  için en uygun değer  $+100 \text{ VDC}$  önerilmekle birlikte, deneyde  $+50\text{VDC}$  kullanılmıştır. Bu voltajda  $0.4 \text{ mA}$  akım geçmektedir.  $V_{cc}$  voltajı  $+30 \text{ VDC}$ 'ye kadar inebilmektedir. Adres bit uçları ve STB  $+5 \text{ VDC}/0 \text{ mA}$  ile beslenmektedir. A0-A7 ve STB (Strobe) için Şekil 9'deki devre kullanılmıştır. Bu devre SMT-3 kartına 40'luk sayısal bir kablo ve 40'luk sayısaş konektörlerle bağlanmıştır. SMT-3 kartının PCB şeması III. Gelişme raporunda disket içinde verilmiştir. Üretilen SMT-3 kartının resimleri Ek 3-Şekil 20-22'de sunulmuştur.

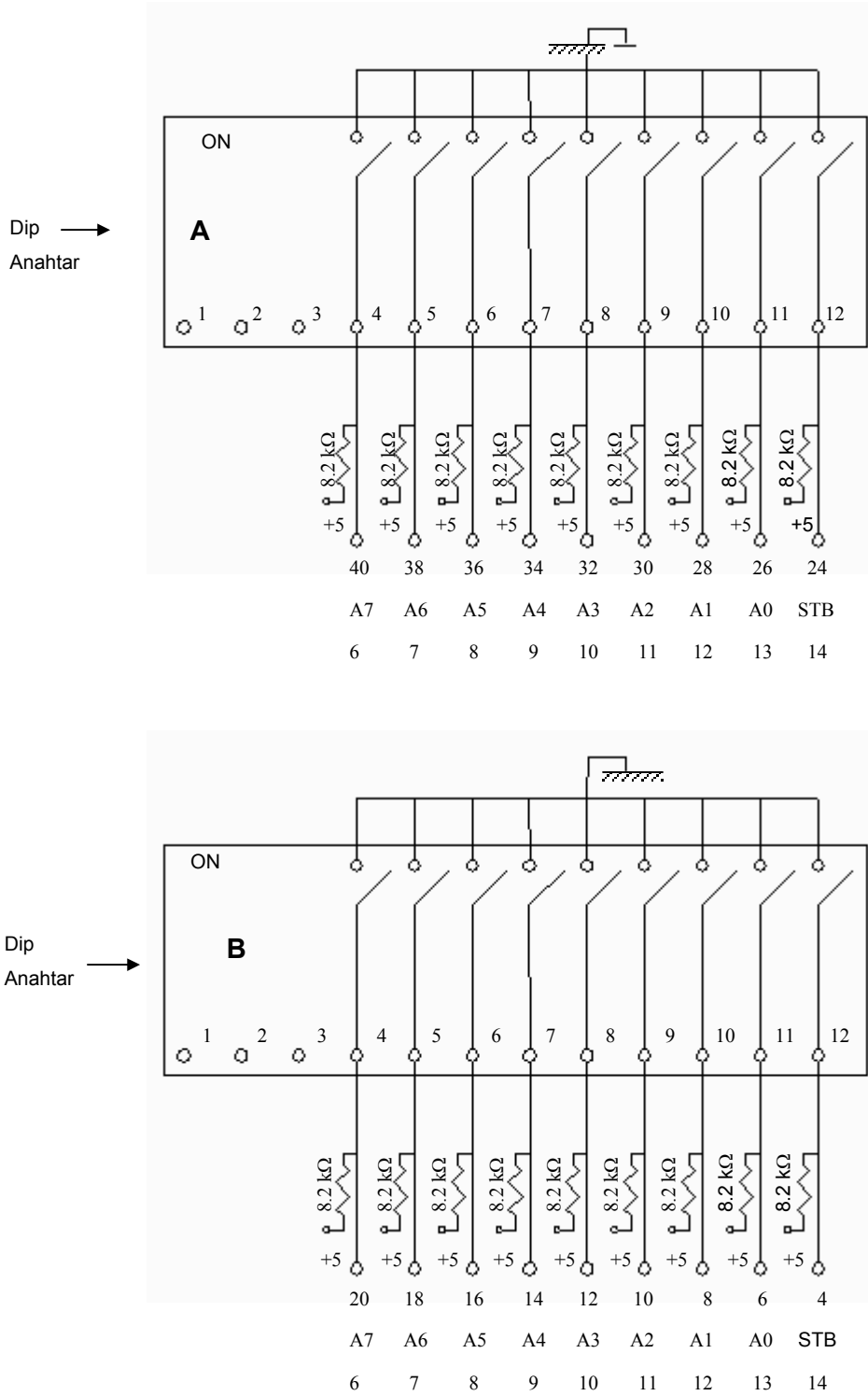
Tablo 5

Pin #	Ref	Tanım	Max. değer
1	RF I/O	RF In/Out	+30 dBm
2,3,5,	GND	Toprak	
4	V <sub>cc</sub>	+5VDC, !10%	0'dan 6 VDC'ye
6	A7	Bit 7 (MSB)	
7	A6		
8	A5		
9	A4		
10	A3		0'dan 6 VDC'ye
11	A2		
12	A1		
13	A0		
14	STB	Strobe	
15,16	GND	Toprak	
17	V <sub>bb</sub>	High bias.	30-125VDC
21	RF I/O	RF In/Out	+30 dBm



Konektör	40	38	36	34	32	30	28	26	24
Filtre A	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0	STB

Konektör	20	18	16	14	12	10	8	6	4
Filtre B	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0	STB



Şekil 9 Strobe için kullanılan devre

STB (Strobe) (14 nolu uç) düşük seviyede iken (0 VDC) frekans adresi kabul edilmektedir. Adres değiştiğinde, yeni adresin kabul edilebilmesi için STB voltajı yüksek seviyeye (deneyde Şekil 9'daki devre kullanılırken +2.3 VDC oluyor) çekilmeli ve tekrar düşük seviyeye indirilmelidir. Filtre biriminin (SMT-3) kazancı +22 dB olarak ölçülmüştür. Tablo

4'deki frekanslarda yapılan ölçümlerde, filtrenin I.L. ve BW değerleri -6 dB ve 4% olarak, beklendiği gibi ölçülmüşlerdir.

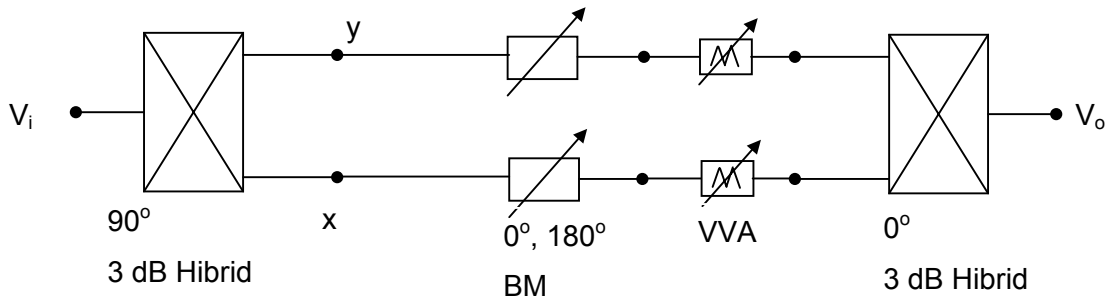
SMT-3 kartının A ve B kanallarının giriş çıkış değerleri ölçülmüş ve aşağıda verilmiştir:

Giriş:  $P_{in} = -10$  dBm, 650 MHz'de

Çıkış:  $P_{out} = +11$  dBm, 650 MHz'de

## 2.5 Kompleks Vektör Modulatör - RF Tasarım

Anten dizisinin elemanlarında endüklenen RF voltajların genlik ve fazlarının oluşturduğu fazör vektörleri, antenlere gelen elektromanyetik dalganın genliğine, geliş yönüne ve anten elemanları ile bunlar arasındaki uzaklığa bağlıdır. Antenlerin terminallerindeki fazörlerin değerleri frekans indirme, yükseltme ve diğer elemanların etkisiyle değişerek vektörel olarak toplandığında, istenen anten dizisi ışıma örüntüsü elde edilemeyebilir. Anten ışıma örüntüsünü kontrol etmek için antenlerden gelen sinyallerin genlik ve fazlarının kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu amaç için iki kontrol tekniği seçeneği vardır. Birincisinde seri olarak bağlanan zayıflatıcı ve faz değiştirici ayrı ayrı elektronik olarak kontrol edilir. İkinci seçenek ise Şekil 10'da görülen ve tercih ettiğimiz kompleks vektör modulatörüdür. Birinci seçenekte zayıflatıcının araya girme fazının ve faz değiştiricinin araya girme kaybının kontrol edilmesi vektör modulatöre göre daha zordur. Ayrıca vektör modulatörde  $360^\circ$  faz kaydırması daha kolay elde edilebilir. Birinci seçenekte  $360^\circ$  faz kaydırması elde etmek için iki adet faz kaydırıcıyı seri bağlamak gerekir.



Şekil 10 Kompleks Vektör Modulatör

Kompleks vektör modulatörün elemanları Ek 4'de verilmiştir.

### 2.5.1 İdeal Vektör Modulatörün (VM) Çalışması:

İdeal VM'in çıkış voltajı  $V_o$  şu şekilde ifade edilebilir:

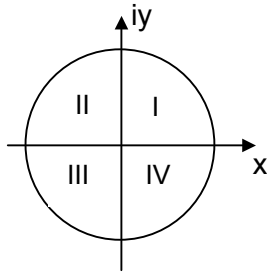
$$V_o = \frac{V_i}{\sqrt{2}} \cdot x \cdot e^{i(\omega t + \Phi_{ox})} + \frac{V_i}{\sqrt{2}} \cdot y \cdot e^{i(\omega t + \pi/2 + \Phi_{oy})}$$

$\omega$  = açısal frekans       $t$  = zaman (sn)

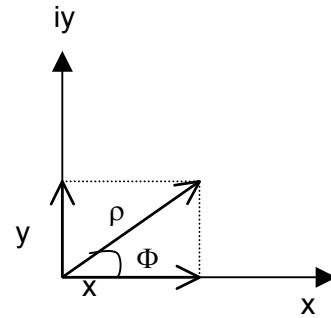
$x$  ve  $y$  Şekil 10'de gösterilen kanallardaki zayıflatma miktarını,  $\Phi_{ox}$  ve  $\Phi_{oy}$  ise kanallardaki çift kutuplu faz modulatorlerine ilişkin ( $0^\circ$  ya da  $180^\circ$ ) faz farkını göstermektedir. Tablo 6'de özetlendiği gibi, çift kutuplu faz modulatorleri aracılığı ile çıkış voltajının fazı  $0^\circ$  ile  $360^\circ$  arasındaki 4 bölgede (Şekil 11) ayarlanabilmektedir.

Tablo 6 Çift kutuplu faz modulatorleri ile çıkış voltajının fazının ayarlanması

Bölge	$\Phi_{ox}$	$\Phi_{oy}$
I	0	0
II	180	0
III	180	180
IV	0	180



Şekil 11 Çıkış voltaj fazının bölgelere göre ayrımı



Şekil 12 Çıkış voltajının genliği ve fazı

$$V_o = \frac{1}{\sqrt{2}} (x + iy) e^{j\omega t} = \frac{\rho}{\sqrt{2}} e^{i\Phi} e^{j\omega t} \quad 1.$$

Bölge

$\rho$  = VM'ün getirdiği genlik zayıflatması

( $\rho \leq 1$ )

$$\rho = \sqrt{x^2 + y^2} \quad \Phi = \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right)$$

$$x = \rho \cos \Phi$$

$$y = \rho \sin \Phi$$

$\Phi$  = VM'ün getirdiği faz

( $\Phi < 0$  gecikme)

### Özel Durumlar:

(i)  $\rho = 1, \Phi = 0^\circ, x = 1, y = 0$

$$V_o = (1/\sqrt{2})e^{i\omega t} \quad (3 \text{ dB zayıflama, } 0^\circ \text{ faz})$$

(ii)  $\rho = 1, \Phi = -90^\circ, x = 0, y = -1$

$$V_o = (1/\sqrt{2})e^{(i\omega t - i\pi/2)} \quad (3 \text{ dB zayıflama, } -90^\circ \text{ gecikme fazı})$$

(iii)  $\rho = 1, \Phi = 45^\circ, x = 1, y = 1$

$$V_o = e^{i\omega t + i\pi/4} \quad (\text{zayıflama yok, } -360 + 45 = -215^\circ \text{ gecikme fazı})$$

(iv)  $\rho = 1, \Phi = -45^\circ, x = 1, y = -1$

$$V_o = e^{i\omega t - i\pi/4} \quad (\text{zayıflama yok, } -45^\circ \text{ gecikme fazı})$$

(v) Faz  $\Phi$ 'yi sabit tutup sadece genliği değiştirmek:

$$\rho \rightarrow \rho' \quad \Phi = \text{sabit}$$

$$x = \rho \cos \Phi \quad \rightarrow \quad x' = \rho' \cos \Phi$$

$$y = \rho \sin \Phi \quad \rightarrow \quad y' = \rho' \sin \Phi$$

x ve y değerleri  $(\rho'/\rho)$  ile çarpılır.

(vi) Genlik  $\rho$ 'yi sabit tutup, sadece faz  $\Phi$ 'yi değiştirmek:

$$\rho = \text{sabit} \quad \Phi \rightarrow \Phi'$$

$$x = \rho \cos \Phi \quad \rightarrow \quad x' = \rho \cos \Phi'$$

$$y = \rho \sin \Phi \quad \rightarrow \quad y' = \rho \sin \Phi'$$

x  $(\cos \Phi'/\cos \Phi)$  ile, y ise  $(\sin \Phi'/\sin \Phi)$  ile çarpılır.

(vii) Hem genlik  $\rho$ 'yi hem de faz  $\Phi$ 'yi değiştirmek:

$$\rho \rightarrow \rho' \quad \Phi \rightarrow \Phi'$$



$$x \left( \frac{\rho' \cos \Phi'}{\rho \cos \Phi} \right) \text{ ile, } y \text{ ise } \left( \frac{\rho' \sin \Phi'}{\rho \sin \Phi} \right) \text{ ile çarpılır.}$$

Verilen  $\Delta\Phi$  faz basamağı için gerekli  $\Delta x$  (dB) ve  $\Delta y$  (dB) zayıflama basamakları:

$$(dx/d\Phi) = -\rho \sin \Phi, (dy/d\Phi) = \rho \cos \Phi$$

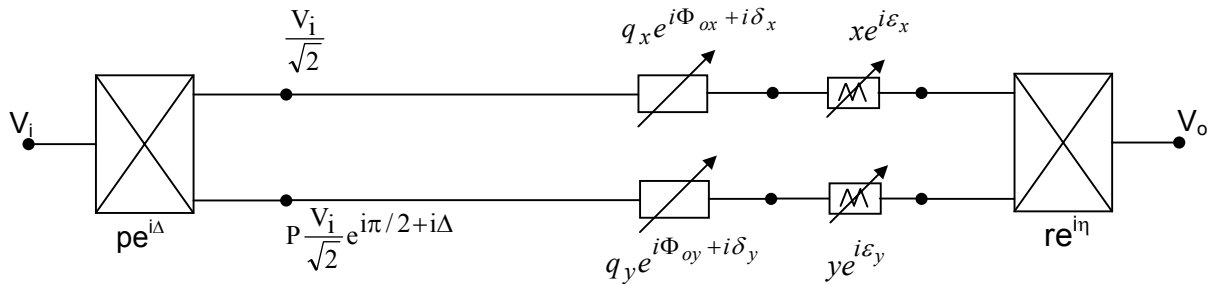
$$\Delta x_{dB} = 20 \log\left(\frac{x + \Delta x}{x}\right) = 20 \log(1 - \Delta\Phi \tan \Phi)$$

$$\Delta y_{dB} = 20 \log\left(\frac{y + \Delta y}{y}\right) = 20 \log(1 + \Delta\Phi / \tan \Phi)$$

Zayıflama basamakları en az 0.03 dB olmalıdır. Bu değeri elde etmek için, zayıflatıcıların çok hassas ayarlanabilmesi gerekir. Bunun sağlanabilmesi için, sayısal kontrol 40 dB'lik bir aralık için 10 Bit'ten yüksek olmalıdır. Bu durumda zayıflatıcıya verilen analog DC voltaj basamakları 2 mV civarında olur. 2 mV ve küçük değerlerde PC kartı üzerinde gürültü sorunlarını halletmek zorlaşır.  $\Phi\Delta = 1^\circ$  faz basamağını değiştirmeden, minimum zayıflama basamak büyüklüğünü arttırmak için  $\rho_{dB}$  de kabul edilebilir ufak hatalara izin verilebilir.

## 2.5.2 İdeal Olmayan VM'ün Analizi:

Şekil 13'de ideal olmayan VM'nün parametreleri verilmiştir.



Şekil 13 İdeal olmayan Vektör modülatör

$$V_o = \frac{V_i}{\sqrt{2}} \left[ q_x x e^{i(\Phi_{ox} + \delta_x + \epsilon_x)} + p \cdot q_y \cdot y \cdot r e^{i(\pi/2 + \Phi_{oy} + \Delta + \delta_y + \epsilon_y + \eta)} \right]$$

Burada;

$P, \Delta$  :  $90^\circ$  Hibrid'in genlik ve faz dengesizlik hataları

$(q_x, \delta_x), (q_y, \delta_y)$  : Çift faz modülatörü BM'nin genlik ve faz dengesizlik hataları

$(\varepsilon_x, \varepsilon_y)$  . VVA'nın araya girme faz hataları

$(r, \eta)$  :  $0^\circ$  ikili sinyal birleştiricinin genlik ve faz dengesizlik hataları

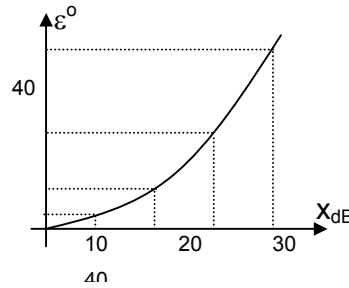
Voltaj kontrollü zayıflatıcı (VVA) hatalarının genlik ve faz kontrolü üzerindeki etkisini incelemek için aşağıda analiz yapılmıştır.

$$V_o = \frac{1}{\sqrt{2}} (xe^{-i\varepsilon_x} + iye^{-i\varepsilon_y}) = \frac{1}{\sqrt{2}} \rho e^{i\Phi}$$

$$\rho \cos\Phi = x \cos \varepsilon_x + y \sin \varepsilon_y$$

$$\rho \sin\Phi = -x \sin \varepsilon_x + y \cos \varepsilon_y$$

Normal bir VVA'da zayıflama seviyesi arttıkça faz hatası da artar. Tipik bir değişim Şekil 14'de verilmiştir.



Şekil 14 VVA'deki faz hatasının zayıflatma seviyesine göre değişimi

$\varepsilon^\circ (x_{dB})$  değişimi parabolik bir fonksiyonla yaklaşık olarak ifade edilebilir. (Tablo 7)

Tablo 7 Faz hatasının parabolik bir fonksiyon ile yaklaşık olarak ifade edilmesi

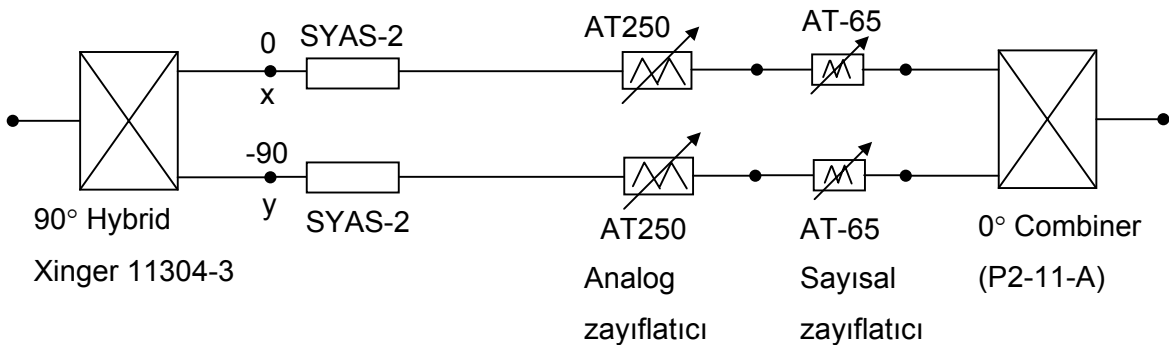
$x_{dB}$	$\varepsilon_x^\circ = \varepsilon_y^\circ$	$\varepsilon^\circ(x_{dB})$
-5	0.1	$\varepsilon^\circ = 2.6667 + 0.79x_{dB} + 0.05533x_{dB}^2$
-10	0.3	
-20	9.0	
-20	9.0	$\varepsilon^\circ = -26 - 1.85x_{dB} - 0.005x_{dB}^2$
-30	25.0	
-40	40.0	

VM'ün gerçekleştirilmesi için, önce VM'de kullanılan tüm elemanlar için ayrı ayrı RF kartları tasarlanarak, elemanlar teker teker laboratuvarında test edilmiştir. Testler için HP-8720D Vektör Analizör kullanılmıştır. Test sonuçları Ek 4'de verilmiştir.

VM'in elemanları test edildikten sonra VM'in tasarımı yapılmış ve laboratuvar ortamında RF kartı gerçekleştirilerek test edilmiştir. Test devresi ve kart özellikleri Ek 4'te verilmiştir. Prototip kartın test sonuçları ise II. Gelişme Raporunda bulunabilir. Daha sonra elektronik kısmıyla birlikte vektör modülatör kartları üretilmiştir. Bu kartların ölçüm sonuçları bir sonraki bölümde sunulmuştur.

### 2.5.3 Üretilen Vektör Modülatörlerin Ölçümleri

İki ayrı frekansta ya da aynı frekansta aynı anda iki ayrı demet elde edebilmek amacı ile her bir antenin girişine ikişer adet olmak üzere toplam  $2 \times 8 = 16$  tane vektör modülatör (VM) bağlanmıştır. VM'ler birinci antenden itibaren sırayla numaralandırılmıştır. Tek numaralı VM'lerin çıkışları birleştirilerek bir demet, çift numaralı çıkışlar birleştirilerek de diğer demet oluşturulmaktadır. Tasarlanan VM'lerin karakterizasyonunun yapılabilmesi için bir dizi ölçüm çalışması gerçekleştirilmiştir, bu bölümde ölçüm sonuçları özetlenecektir. VM'leri oluşturan devre elemanları Şekil 15'de gösterilmektedir. Ek4-Şekil 23'de ise üretilen VM kartının fotoğrafı görülmektedir. Her kartta iki tane VM bulunmaktadır.



Şekil 15 Üretilen vektör modülerin devre elemanları

Girişteki 90° hibrid bölücünün 0° fazlı çıkışı x kanalını, 90° fazlı çıkışı ise y kanalını oluşturmaktadır. İlk ölçümler x ve y kanallarındaki devre elemanlarının toplam doğal araya girme kaybını belirlemek amacı ile yapılmıştır. X kanalındaki toplam araya girme kaybını ölçmek amacı ile x kanalındaki ayarlanabilir zayıflatıcılar minimum zayıflatma konumuna (Sayısal zayıflatıcı = 0000, analog zayıflatıcı = -2.5V) getirilmiş, y kanalındaki zayıflatıcılar ise maksimum zayıflatma konumlarına (Sayısal zayıflatıcı= 1111, analog zayıflatıcı = 0V) ayarlanmıştır. Y kanalındaki ölçümler için ise x kanalında maksimum zayıflatma, y kanalında minimum zayıflatma sağlanmıştır. 0° ikili sinyal birleştiricinin çıkışındaki gücün 90° hibrid bölücünün girişindeki güce olan oranı, toplam araya girme kaybını vermektedir. Ölçümler

boyunca tüm iki kutuplu faz modölatörleri + pozisyona ayarlanmıştır. Her bir VM için x ve y kanallarındaki toplam araya girme kayıplarına ilişkin ölçüm sonuçları Tablo 8’de verilmiştir.

*Tablo 8 x ve y kanallarındaki toplam doğal araya girme kaybı ölçüm sonuçları*

VM no.	X (dB)	Y(dB)
1	-15.884	-16.07
2	-15.76	-15.773
3	-15.83	-16.1
4	-15.8	-15.9
5	-16.1	-16.1
6	-15.811	-15.849
7	-16.65	-15.93
8	-16.50	-15.714
9	-15.64	-16.12
10	-16.4	-15.94
11	-15.8	-16.074
12	-15.7	-16.18
13	-15.8	-16.07
14	-15.7	-15.9
15	-15.647	-16.16
16	-15.9	-15.82

VM’lerde kullanılan devre elemanlarının üretici firmalarının belirttiği araya girme kayıplarına göre toplam kayıp teorik olarak Tablo 9’daki gibi hesaplanabilir.

*Tablo 9 Araya girme kayıpları (minimum ve maksimum zayıflatma konumları)*

	Minimum zayıflatma konumu	Maksimum zayıflatma konumu
Hibrid bölücü	-3.5 dB	-3.5 dB
İki kutuplu faz modölatörü	-4.5 dB	-4.5 dB
Sayısal zayıflatıcı	-1.9 dB	-16.5 dB
Analog zayıflatıcı	-3.5 dB	-32 dB
0° ikili sinyal birleştirici	-3.5 dB	-3.5 dB
Toplam	-16.9 dB	-60 dB

Her VM için minimum zayıflatma konumunda ölçülen değerler, o VM için çıkış voltajının alabileceği maksimum değeri göstermektedir. Örneğin toplam araya girme kaybı – 16dB olan bir VM için yalnız faz kontrolü yapıldığında aşağıdaki ifadeler kullanılabilir.

$$\begin{aligned} x &= \rho \cos \Phi \\ y &= \rho \sin \Phi \end{aligned} \quad \rho = 10^{-16/20} = 10^{-0.8}$$

Ek zayıflatmaya ihtiyaç duyulan durumlarda ise aşağıdaki ifadeler kullanılmalıdır.

$$\begin{aligned} x &= \alpha \rho \cos \Phi & x_{dB} &= \alpha_{dB} + \rho_{dB} + 20 \log(\cos \Phi) \\ y &= \alpha \rho \sin \Phi & y_{dB} &= \alpha_{dB} + \rho_{dB} + 20 \log(\sin \Phi) \end{aligned} \quad \rho_{dB} = -16\text{dB}$$

X ve y kanallarındaki analog ve sayısal zayıflatıcılar ayarlanarak amaçlanan  $x_{db}$  ve  $y_{db}$  değerleri elde edilmektedir. Sayısal zayıflatıcılar 2,4,6,...,30dB gibi belirli zayıflatma konumlarına ayarlanabildiği için bu zayıflatıcılar ile kaba (course) ayar, analog zayıflatıcılar ile ise ince (fine) ayar yapılmaktadır. Amaçlanan zayıflatma değerlerinin doğru bir şekilde elde edilebilmesi için zayıflatıcıların pratikte sağladıkları zayıflatma değerlerinin, üretici firmaları tarafından verilen değerlerle uyum içinde olup olmadıklarının test edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, x ve y kanallarındaki toplam doğal kayıplar ölçüldükten sonra ayarlanabilir sayısal ve analog zayıflatıcıların değişik konumlardaki zayıflatma değerleri ölçülmüştür. Ölçümü yapılacak sayısal zayıflatıcının (AT 65) bulunduğu kanaldaki (x/y) analog zayıflatıcı minimum zayıflatma konumuna (-2.5V) getirilmiş, diğer kanaldaki (y/x) sayısal ve analog zayıflatıcılar ise maksimum zayıflatma konumlarına ayarlanarak ölçümler yapılmıştır. Zayıflatıcıların sağladığı zayıflatma değerleri Tablo 8’de verilen doğal araya girme kayıp değerleri referans alınarak ölçülmüştür. Sayısal zayıflatıcının 1000, 0100, 0010, 0001 ve 1111 konumları için elde edilen ölçüm sonuçları Tablo 10’da özetlenmiştir. Sayısal zayıflatıcıların ölçüm sonuçları üretici firma tarafından belirtilen değerlerle (1000 = -2dB, 0100 = -4dB, 0010 = -8dB, 0001 = -16dB, 1111 = -30 dB) uyum içindedir.

*Tablo 10 Sayısal zayıflatıcıya ilişkin ölçüm sonuçları*

	VM 1		VM 2		VM 3		VM 4	
AT 65	X(dB)	Y(dB)	X(dB)	Y(dB)	X(dB)	Y(dB)	X(dB)	Y(dB)
1000	-1.96	-1.9	-1.92	-1.93	-1.94	-1.877	-1.935	-1.889
0100	-4.18	-4.15	-4.14	-4.15	-4.12	-4.11	-4.15	-4.136
0010	-8.3	-8.1	-8.1	-8.1	-8.05	-8.05	-8.079	-8.08
0001	-16.00	-16.1	-15.93	-16.07	-15.88	-16	-15.919	-16.05
1111	-29.634	-30.30	-29.3	-29.87	-29.52	-30.01	-29.305	-29.89

	VM 5		VM 6		VM 7		VM 8	
AT 65	X(dB)	Y(dB)	X(dB)	Y(dB)	X(dB)	Y(dB)	X(dB)	Y(dB)
1000	-1.9	-1.9	-1.917	-1.92	-1.93	-1.95	-1.907	-1.937
0100	-4.12	-4.14	-4.133	-4.146	-4.16	-4.16	-4.127	-4.17
0010	-8.05	-8.15	-8.06	-8.11	-8.09	-8.15	-8.07	-8.164
0001	-15.91	-16.0	-15.9	-16.062	-15.97	-16.09	-15.887	-16.09
1111	-29.43	-30.5	-29.5	-30.001	-29.46	-30.45	-29.44	-30.128

	VM 9		VM 10		VM 11		VM 12	
AT 65	X(dB)	Y(dB)	X(dB)	Y(dB)	X(dB)	Y(dB)	X(dB)	Y(dB)
1000	-1.96	-1.92	-1.9	-1.9	-1.932	-1.931	-1.9	-1.9
0100	-4.18	-4.18	-4.136	-4.2	-4.132	-4.16	-4.09	-4.16
0010	-8.145	-8.207	-8.07	-8.17	-8.061	-8.149	-8.03	-8.1
0001	-15.09	-16.18	-15.9	-16.0	-15.88	-16.00	-15.9	-16.00
1111	-29.6	-30.568	-29.145	-30	-29.00	-31.072	-29.78	-30.328

	VM 13		VM 14		VM 15		VM 16	
AT 65	X(dB)	Y(dB)	X(dB)	Y(dB)	X(dB)	Y(dB)	X(dB)	Y(dB)
1000	-1.9	-1.91	-1.87	-1.9	-1.87	-1.932	-1.86	-1.9
0100	-4.1	-4.154	-4.1	-4.1	-4.11	-4.156	-4.067	-4.1
0010	-8.0	-8.09	-8.00	-8.1	-8.014	-8.1	-7.91	-8.00
0001	-15.88	-16.03	-15.88	-16.03	-15.9	-16.1	-15.74	-15.96
1111	-29.27	-30.0	-29.3	-30.00	-29.5	-30.6	-28.95	-29.9

Analog zayıflatıcıların ölçümleri için de benzer bir yöntem izlenmiş ve bu sefer ölçümü yapılacak analog zayıflatıcının (AT 250) bulunduğu kanaldaki sayısal zayıflatıcı minimum zayıflatma konumuna (0000) getirilmiştir. Analog zayıflatıcının kontrol gerilimi  $-1.8V$ ,  $-1.5V$  ve  $-0.5V$  değerlerine ayarlanmış ve ölçüm sonuçları Tablo 11’de sunulmuştur. Tablo incelendiğinde aynı kontrol geriliminde, zayıflatıcılar arasında özellikle düşük zayıflatma konumlarında 4.6 dB büyüklüğünde farklılıklar gözlenmiştir. Bu nedenle amaçlanan zayıflatma değerlerine karşılık gelen kontrol voltaj değerinin hesaplanmasında, her bir zayıflatıcı için kendi ölçüm değerleri baz alınmıştır.

Tablo 11 Analog zayıflatıcıya ilişkin ölçüm sonuçları

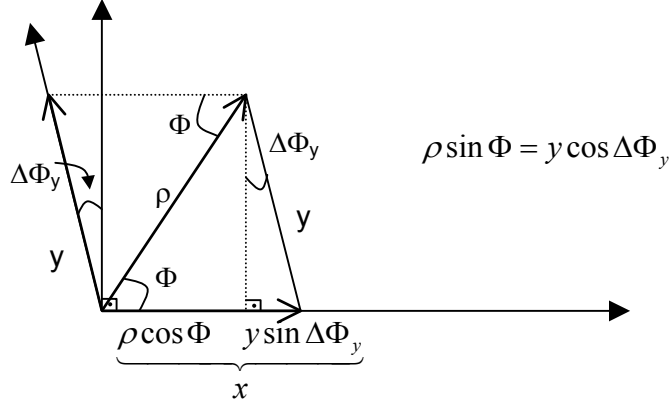
	VM 1		VM 2		VM 3		VM 4	
AT 250	X(dB)	Y(dB)	X(dB)	Y(dB)	X(dB)	Y(dB)	X(dB)	Y(dB)
-1.8 V	-4.25	-3.47	-5.5	-3.5	-3.9	-3.58	-6.3	-6.17
-1.0 V	-10.425	-10.45	-11.2	-10.24	-10.45	-10.53	-11.626	-11.35
-0.5 V	-12.42	-12.6	-13.1	-11.2	-12.48	-12.675	-13.46	-13.00

	VM 5		VM 6		VM 7		VM 8	
AT 250	X(dB)	Y(dB)	X(dB)	Y(dB)	X(dB)	Y(dB)	X(dB)	Y(dB)
-1.8 V	-5.8	-6.00	-3.5	-3.0	-7.6	-6.46	-7.7	-5.6
-1.0 V	-11.15	-11.66	-10.02	-9.3	-11.45	-11.49	-11.67	-11.258
-0.5 V	-12.94	-13.48	-12.11	-11.70	-12.87	-13.27	-13.16	-13.045

	VM 9		VM 10		VM 11		VM 12	
AT 250	X(dB)	Y(dB)	X(dB)	Y(dB)	X(dB)	Y(dB)	X(dB)	Y(dB)
-1.8 V	-6.6	-7.3	-7.5	-6.6	-6.9	-6.8	-7.09	-7.259
-1.0 V	-11.6	-11.9	-11.0	-11.0	-11.445	-11.0	-11.919	-11.712
-0.5 V	-13.26	-13.547	-13.09	-12.87	-13.0	-13.0	-13.57	-13.277

	VM 13		VM 14		VM 15		VM 16	
AT 250	X(dB)	Y(dB)	X(dB)	Y(dB)	X(dB)	Y(dB)	X(dB)	Y(dB)
-1.8 V	-4.25	-5.6	-5.3	-5.1	-6.5	-6.5	-5.92	-5.87
-1.0 V	-10.5	-11.211	-11.1	-10.7	-11.479	-11.45	-11.226	-11.016
-0.5 V	-12.5	-13.0	-12.9	-12.5	-13.1	-13.15	-13.007	-12.74

VM'lerin girişindeki 90°'lik hibrid bölücü ve çıkışındaki 0°'lik birleştiricilerde oluşabilecek faz hataları, x vektörü referans alındığında, y vektörünün açısında  $\Delta\Phi_y^{0^\circ}$  'lık bir sapmaya neden olmaktadır(Şekil 16). Bu durumda istenilen çıkış vektörüne karşılık gelen x ve y değerlerinin hesaplanmasında aşağıdaki ifadeler kullanılmalıdır.



Şekil 16 90°'lik hibrid bölücü ve 0°'lik birleştiricideki faz hatalarının düzeltilmesi

$$x = \rho \cos \Phi + \rho \sin \Phi \tan \Delta \Phi_y$$

$$y = \frac{\rho \sin \Phi}{\cos \Delta \Phi_y}$$

Her bir VM için 90°'lik hibrid bölücü ve 0°'lik birleştiricideki faz hata miktarlarını belirlemek amacı ile x ve y kanallarındaki iki kutuplu faz modulatörlerinin + ve – konumlarının değişik kombinasyonları için ölçümler yapılmıştır. Ölçümlerin yapıldığı durumlar ve teorik olarak beklenen çıkış sinyal büyüklükleri ve fazları Tablo 12'de verilmektedir. Çıkış sinyalinin büyüklük ve fazı, her bir VM için kendi x kanalı (Tablo 8) referans alınarak ölçülmüştür, bu nedenle her iki kanaldan genel sinyaller birleştirildiğinde çıkış sinyalinin büyüklüğünde 3dB'lik bir artış beklenmektedir.

Tablo 12 Ölçüm yapılan iki kutuplu faz modulatörü konumları

Çıkış vektörü	x kanalı faz modulatörü	y kanalı faz modulatörü	x kanalı zayıflatma	y kanalı zayıflatma	$ V_o $ dB	$\angle V_o(^{\circ})$
-X	-	+	Minimum	Maksimum	0	-180°
Y	+	+	Maksimum	Minimum	0	-90°
-Y	+	-	Maksimum	Minimum	0	90°
X Y	+	+	Minimum	Minimum	3	-45°
-X -Y	-	-	Minimum	Minimum	3	135°
-X Y	-	+	Minimum	Minimum	3	-135°
X -Y	+	-	Minimum	Minimum	3	45°

Tablo 12'de özetlenen durumlar için yapılan ölçüm sonuçları Tablo 13'de verilmektedir.

-X, Y ve -Y vektörleri için çıkış sinyal genliği -0.5dB ile +0.5dB arasında küçük değerler aldığı için tabloda gösterilmemiştir. Y vektörünün ölçülen açısı ile -90° arasındaki fark, 90°'lik



hibrid bölücü ve 0°'lik birleştiricideki faz hatalarının neden olduğu  $\Delta\Phi_y^0$ 'lik sapmayı vermektedir.

*Tablo 13 İki kutuplu faz modulatörlerinin farklı konumları için elde edilen ölçüm sonuçları*

		VM 1	VM 2	VM 3	VM 4	VM 5	VM 6	VM 7	VM 8
-X	$\angle V_o(^{\circ})$	-178.5	-179	-178	-178.6	-178.9	-178.1	-178.2	-178.5
Y	$\angle V_o(^{\circ})$	-92.05	-84.2	-91	-82.2	-89.7	-86.4	-86	-83.2
-Y	$\angle V_o(^{\circ})$	88.3	96.0	89.4	97.6	90.7	93.073	94.19	97.137
X	$ V_o $ dB	2.85	3.5	2.9	3.6	3.01	2.7	3.79	4
Y	$\angle V_o(^{\circ})$	-45	-42.3	-45.4	-41.5	-45	-43.83	-45	-44.5
-X	$ V_o $ dB	2.80	3.5	2.9	3.6	3.1	3.2	3.69	4
-Y	$\angle V_o(^{\circ})$	135.04	137.5	135.4	139	135	135	134	136
-X	$ V_o $ dB	3.2	2.6	2.8	2.4	3.04	2.81	3.14	2.95
Y	$\angle V_o(^{\circ})$	-136.3	-132	-133.4	-131.2	-135.2	-133	-130	-128
X	$ V_o $ dB	3.05	2.58	2.75	2.32	2.89	2.73	3.0	2.89
-Y	$\angle V_o(^{\circ})$	44	48	46.9	48.4	45.14	46	49	52

		VM 9	VM 10	VM 11	VM 12	VM 13	VM 14	VM 15	VM 16
X	$\angle V_o(^{\circ})$	-178.4	-178.7	-179	-178.7	-179	-178.8	-178.5	-179
Y	$\angle V_o(^{\circ})$	-94.78	-83.5	-90	-86.9	-92	-90.2	-92.74	-82.2
-Y	$\angle V_o(^{\circ})$	84.7	96.7	88	93.17	87.6	89.9	87.4	97.7
X	$ V_o $ dB	2.5	3.77	2.9	3.3	2.8	3.002	2.6	3.6
Y	$\angle V_o(^{\circ})$	-46.39	-44.1	-45	-43.03	-46.1	-44.9	-45.38	-42
-X	$ V_o $ dB	2.44	3.78	2.9	3.27	2.82	3.02	2.54	3.66
-Y	$\angle V_o(^{\circ})$	134.35	136	134	137.6	134	135.38	135.35	138.23
-X	$ V_o $ dB	3.226	2.7	3.1	2.6	3.13	3.02	3.01	2.5
Y	$\angle V_o(^{\circ})$	-138.7	-130	-130	-134.5	-136	-135.3	-137.7	-130
X	$ V_o $ dB	3.1	2.6	3.22	2.6	3	2.95	2.91	2.45
-Y	$\angle V_o(^{\circ})$	41	50.2	43.45	45.6	43.2	45.12	42.07	49.6

Yukarıda da belirtildiği gibi Tablo 13'deki değerler her bir VM için kendi x kanalı referans alınarak ölçülmüştür. Ancak anten dizisinin analizi göz önüne alındığında, VM çıkışlarının birbirlerine göre olan faz farklarının belirlenmesi önem taşımaktadır. Bu nedenle, tek numaralı VM'ler için 1 numaralı VM referans alınarak, çift numaralı vektör modulatörler için

ise 2 numaralı VM referans alınarak Y ve -Y vektörleri için ölçümler yapılmış, ve sonuçlar sırasıyla Tablo 14 ve Tablo 15’de verilmiştir.

*Tablo 14 1 numaralı VM referans alınarak tek numaralı VM’ler için yapılan ölçümler*

	Y		-Y	
	$ V_o $ dB	$\angle V_o(^{\circ})$	$ V_o $ dB	$\angle V_o(^{\circ})$
VM 3	-0.144	-91.47	-0.112	88.4
VM 5	-0.2	-91.4	-0.15	89.99
VM 7	-0.014	-87.3	-0.012	92.7
VM 9	-0.23	-89.9	-0.276	89.73
VM 11	-0.25	-90.4	-0.206	89.2
VM 13	-0.29	-95.3	-0.27	84.87
VM 15	-0.33	-93.2	-0.312	87.1

*Tablo 15 2 numaralı VM referans alınarak çift numaralı VM’ler için yapılan ölçümler*

	Y		-Y	
	$ V_o $ dB	$\angle V_o(^{\circ})$	$ V_o $ dB	$\angle V_o(^{\circ})$
VM 4	-0.07	-85.17	-0.042	94.786
VM 6	-0.09	-85.31	-0.043	94.192
VM 8	0.091	-82.4	0.167	97.6
VM 10	-0.13	-82	-0.11	98
VM 12	-0.384	-83	-0.35	97
VM 14	-0.2	-89.4	-0.1	90.7
VM 16	-0.03	-88.6	-0.005	91.5

Tablo 11’de verilen ölçüm sonuçlarına göre, analog zayıflatıcıya (AT 250) uygulanması gereken voltajlar her kanal için aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$V(v) = a_0 + a_1(\alpha_{dB}) + a_2(\alpha_{dB})^2 + a_3(\alpha_{dB})^3$$

$\alpha_{dB}$  kanallardaki, ölçmeler sonucu elde edilen zayıflama miktarıdır. Her VM’ün x ve ya kanalı için hesaplanan  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  ve  $a_3$  değerleri Tablo 16’da verilmiştir.

*Tablo 16 Analog zayıflatıcıya uygulanması gereken voltajın hesaplanmasında kullanılan  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  ve  $a_3$  değerleri*

	VM 1		VM 2		VM 3		VM 4	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
$a_0$	-2.4	-2.4	-2.4	-2.4	-2.4	-2.4	-2.4	-2.4
$a_1$	-0.202	-0.246	-0.157	-0.251	-0.223	-0.239	-0.133	-0.156
$a_2$	-0.02	-0.026	-0.014	-0.029	-0.023	-0.025	-0.012	-0.017
$a_3$	-0.001	-0.001	-0.001	-0.002	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001

	VM 5		VM 6		VM 7		VM 8	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
$a_0$	-2.4	-2.4	-2.4	-2.4	-2.4	-2.4	-2.4	-2.4
$a_1$	-0.15	-0.142	-0.242	-0.279	-0.103	-0.124	-0.092	-0.165
$a_2$	-0.014	-0.013	-0.025	-0.032	-0.013	-0.011	-0.01	-0.017
$a_3$	-0.001	-0.001	-0.002	-0.002	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001

	VM 9		VM 10		VM 11		VM 12	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
$a_0$	-2.4	-2.4	-2.4	-2.4	-2.4	-2.4	-2.4	-2.4
$a_1$	-0.14	-0.109	-0.094	-0.077	-0.132	-0.027	-0.12	-0.117
$a_2$	-0.015	-0.011	-0.03	-0.002	-0.015	+0.009	-0.012	-0.013
$a_3$	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	$-2.354 \times 10^{-5}$	-0.001	-0.001

	VM 13		VM 14		VM 15		VM 16	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
$a_0$	-2.4	-2.4	-2.4	-2.4	-2.4	-2.4	-2.4	-2.4
$a_1$	-0.204	-0.164	-0.175	-0.175	-0.147	-0.131	-0.148	-0.149
$a_2$	-0.02	-0.017	-0.018	-0.018	-0.017	-0.013	-0.014	-0.015
$a_3$	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001

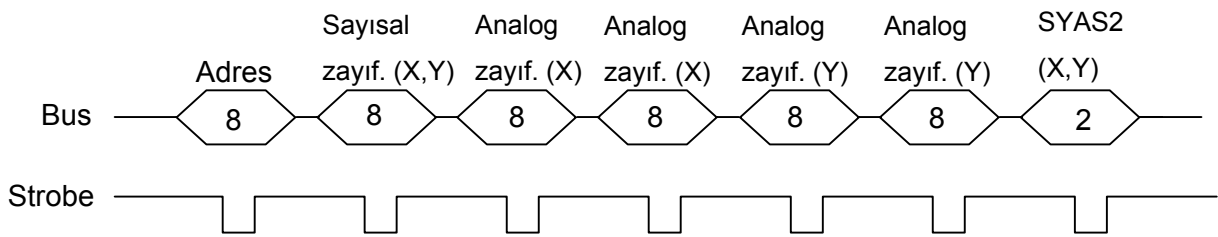
## 2.6 Sistemin Bilgisayar Kontrolü İçin Elektronik Tasarım

Sistemde kullanılan iki tür kart bulunmaktadır. Bunlardan birincisi vektör modülatör kartı, diğeri ise kontrol kartıdır. Bir vektör modülatör kartı üzerinde aynı devreden iki adet geliştirilmiştir ve sistemde sekiz adet bulunmaktadır. Sekiz anten çıkışının herbirinde iki adet vektör modülatör bulunmaktadır. Böylece sekiz anten kullanan iki bağımsız demet

oluşturulabilmektedir. İkinci kart ise sistemde ortak kullanılan elemanların kontrolünü yapmak üzere tasarlanmıştır.

### Vektör Modölatör Devresi

Bu devrenin şematik çizimi “Vektör Modölatör Devresi” şeklinde Ek-5’de verilmiştir. Devrede bulunan bütün mantık elemanları Xilinx entegresi ile gerçekleştirilmiştir. Sistemde bu devreden 16 adet bulunmakta ve her devre kendisine ait sekiz bit anahtarın konumu ile adreslenmektedir. Bu devrelerin adresleri (80H-FFH) arasında olmalıdır. MSB adres bitinin 0 değeri kontrol kartını tanımlamaktadır. Bilgisayar paralel portundan gelen bilgi aşağıdaki gibidir:



Bilgisayar portuna yerleştirilen her bilgi “strobe” sinyali ile bildirilir.

Sayısal zayıflatıcılar 4 bit bilgi kullandığı için x kanalı üst 4 bit, y kanalı ise alt 4 bit ile iletilir. Analog zayıflatıcılara kontrol eden DAC’lar (Sayısalda analoga çevirici) 14 bitlidir. Ancak DAC’ın adreslenmesi için 2 bit daha gereklidir. Bu nedenle her kanal için iki kez 8 bit bilgi aktarılmaktadır.

Kanalların iki kutuplu faz modölatörü (SYAS2) kontrolü bir bit gerektirmektedir. Son gönderilen sekiz bitlik datanın ikinci biti x kanalı, birinci biti y kanalı SYAS kontrolü içindir. Diğer 6 bit kullanılmamaktadır. Standart vektör modölatör bilgisi yukarıda belirtildiği gibi 7 byte’lik döngülerden oluşmaktadır. Ancak vektör modölatörleri kontrol kartı ile aynı data busu üzerinde bulunmakta ve kontrol kartına verilen bazı komutlar daha az bilgi gerektirmektedir. Bu nedenle bu tür komutlar için daha kısa döngüler yapılmıştır. Bu tür komutların adresleri tanımlı olduğu için vektör modölatör devresinde adres çözümlemesi ile belirlenmekte ve komutun uzunluğuna uygun bir döngü gerçekleştirilmektedir. Bu işlemler için Xilinx içerisinde gerçekleştirilen mantık devresi “Xilinx VM Şematik” şeklinde Ek-5’de verilmektedir. Yukarıda sözü edilen döngü kontrolü bu şekilde U1 adı ile gösterilen “State Machine” ile gerçekleştirilmektedir.

### Kontrol Devresi

Sistemde bilgisayar tarafından kontrolü gereken vektör modölatörler dışındaki birimler bu kartta toplanmış ve vektör modölatörlerin ortak kullandığı osilatör entegresi de bu karta

yerleştirilmiştir. Bu kartın devre şeması “kontrol devresi şematik çizimi” şeklinde Ek-5’de verilmiştir. Bu kart üzerinde ZPAD sayısal zayıflatıcılar, filtre ayarları, detektör çıkışlarını okumak üzere ADC (Analogdan sayısala çevirici) entegresi ve 4 MHz ve 24MHz osilatörler bulunmaktadır. 4 MHz osilatör ADC entegresi için gereklidir. 24 MHz osilatör çıkışı bütün kartların esas saat sinyali ve vektör modülatör kartlarına bu karttan dağıtılmaktadır. Kontrol kartında bulunan bütün mantık devreleri Xilinx entegresi içinde gerçekleştirilmiş ve “Xilin Kontrol Şematik” şeklinde Ek-5’de verilmiştir. Bu kartta gerçekleştirilen fonksiyonların ayrıntısı aşağıda anlatılmaktadır.

a) Filtre ayarları

Adres: 01H

Döngü: Adres+2 byte

Amaç: İki kanala ait filtrelerin merkez frekanslarının ayarlanması. Her filtre 8 bit ile kontrol edilir.

b) ZFAT ayarları

Adres: 02H

Döngü: Adres+1 byte

Amaç: İki kanala ait ZFAT sayısal zayıflatıcıların ayarlanmasında kullanılır. LSB 3 bit bir kanalı, sonraki 3 bit diğer kanalı kontrol etmektedir.

c) Çevirme (Conversion) (1. Kanal)

Adres: 04H

Döngü: Adres+ 0 byte

Amaç: 1. kanal ADC çevirme işleminin başlatılması

d) Çevirme (Conversion) (2. Kanal)

Adres: 44H

Döngü: Adres+ 0 byte

Amaç: 2. kanal ADC çevirme işleminin başlatılması

e) ADC Okuma

Adres: 08H

Döngü: Adres+ 2 Strobe

Amaç: En son yapılan ADC çevirme işleminin sonucunun okunması. ADC çıktısı 14 bit’lik bir sayıdır. Bu sayı bilgisayarın paralel portunda bulunan 5 adet status biti ile okunur. MSB 5 bit adres byte’ı ile gönderilen strobe sonrasında hazır hale gelir, sonraki 5 bitin hazırlanması için ikinci strobe sinyali gönderilir. 3. strobe sinyali ile LSB 4 bit hazır hale gelir.

### **CLOCK Kontrol Kartı**

Clock kartını test etmek için önce 1. sonra 2. girişlerine kaynaktan 1000 mV uygulanmış ve karttan geçtikten sonra bilgisayarda oluşan değere bakılmıştır. İki durumda da bilgisayarda oluşan değer  $1000 \pm 25$  mV 'dur. Bu da kabul edilebilir bir değerdir.

### **Bağlantı Kabloları**

Kartlar arasında aşağıdaki kablolar kullanılmıştır:

1. Anten uçları ile SMT-LNA girişleri arasında ve 11 GHz LO 1÷8 güç bölücü çıkışları ile SMT-LO girişleri arasında Astrolab 4" minibend kablolar kullanılmıştır. Bu kablolar X-bandında (8-12 GHz) <0.3 dB genlik farkı ve  $\pm 3^\circ$  faz farkı göstermektedir.
2. SMT çıkışları VM girişlerine Astrolab 4" minibend kabloları ile bağlanmıştır. Bu kablolar 400-1000 MHz arasında <0.2 dB genlik farkı ve  $\pm 0.5^\circ$  faz farkı göstermektedirler.
3. VM çıkışları, 1÷8 güç birleştirici girişlerine Astrolab 6" minibend kablolar ile bağlanmıştır. Bu kablolar 400-1000 MHz arasında <0.2 dB genlik farkı ve  $\pm 0.5^\circ$  faz farkı göstermektedirler.

### **Sistemin DC Güç Kaynakları**

Sistemde çeşitli komponentleri sürmek için aşağıda sıralan ve değerleri verilen DC güç kaynakları kullanılmıştır:

#### **+ 5V DC**

Sistemde +5 V DC aşağıdaki komponentlerde vardır.

**SMT-1:** LNA: +5V DC / 38 mA

Sekiz tane SMT-1 kartındaki 8 LNA için toplam çekilen akım  $8 \times 38 = 304$  mA olmaktadır.

**SMT-2:** VNA-25: +5V DC / 85 mA

2 VNA için toplam çekilen akım  $2 \times 85 = 170$  mA'dir.

**SMT-3:** Pole-Zero filitreler: +5V DC / 200 mA

Bu filitrelerden iki tane kullanılmaktadır, toplam çekilen akım  $2 \times 200 = 400$  mA'dir.

**Sayısal Zayıflatıcı:** AT-51020 +5V DC / 12 mA

İki zayıflatıcı için çekilen toplam akım  $2 \times 12 = 24$  mA'dir.

**VM (Vektör Modülatör) (RF+Sayısal)** +5V DC / 300 mA

16 adet VM kartının çektiği akım  $16 \times 300 = 4800$  mA'dir

**Clock Kontrol Kartı** +5V DC / 300 mA

Bu karttan bir tane vardır, bu nedenle çekilen akım 300 mA'dir.

**Toplam:** 6A akım çekilmektedir.

+5V DC / 8 A için 220AC/+5V/10A anahtarlama kaynağı (switching supply) kullanıldı.

#### - 5V DC

Sistemde -5 V DC aşağıdaki bileşenlerde vardır

VM (Vektör Modölatör) AT65 için -5V DC / 1 mA

Her VM kartında iki tane AT65 olduğu gözönüne alındığında, 16 VM kartındaki AT65'ler toplam olarak,  $2 \times 16 \times 1 = 32$  mA akım çekmektedir.

SYAS-2 -5V DC / 16 mA

Her VM kartında iki tane SYAS-2 olduğu gözönüne alındığında, 16 VM kartındaki SYAS-2'ler toplam olarak,  $2 \times 16 \times 16 = 512$  mA akım çekmektedir

Clock Kartı: -5V DC / 10 mA

**Toplam:** -5V DC / 600 mA (Maksimum)

-5V DC karici bir kaynaktan sağlanmaktadır.

#### + 15V DC

Sistemde +15 V DC aşağıdaki bileşenlerde vardır.

SMT-1: TN-9366: +15V DC / 70 mA

Sekiz tane SMT-1 kartındaki 8 TN-9366 için toplam çekilen akım  $8 \times 70 = 560$  mA olmaktadır.

SMT-2: TN-9366: +15V DC / 700 mA

Toplam çekilen akım  $2 \times 70 = 140$  mA

SMT-3: TN-9366: +15V DC / 70 mA

Toplam çekilen akım  $2 \times 70 = 140$  mA

Osilatörler: XTO-1000-J-15P: +15V DC / 300 mA

LP-700: +15V DC / 212 mA

LPLM-11000: +15V DC / 365 mA

Toplam= +15V DC / 2 A

Sisteme konulan 220AC/+15 VDC/2A anahtarlama kaynağı (switching supply) kullanıldı.

#### + 50V DC <0.1mA

Pole-Zero Sayısal filitrelerin (Mini-400-700-5-PC-G), ters bias voltajı olup akım çekmemektedir. Bu kaynak harici olarak sisteme verilmektedir.

Bazı Voltajların Toleransları:

LNA: +5v → Max. +9 V

TN-9366: +15v → Max. +17 V

VNA-25: +5v → Max. +7 V

VM (Vektör Modölatör): +5 v → Max. +5.25 V, -5v → Max. -5.25 V

### Sistemin Detektörleri

Sistemde vektör modölatörlerden çıkan sinyallerin toplam çıkışlarını görmek için iki adet EMC Detektör kullanılmıştır. Bunlarla ilgili ölçümler Tablo 17 ve Tablo 18 'de sunulmuştur. Bu detektörlerle yapılan diğer ölçümlerde Tablo 19 ve Tablo 20'de verilmiştir.

*Tablo 17 1. Detektör 7906P-S7 1mV/mW duyarlılık (sensitivity)*

P <sub>giriş</sub> (dBm)	f=1GHz	f=750 MHz	f=500 MHz	P/N
-40	-1.12 mV	-1.1 mV	-1.8 mV	1
-30	-2.6 mV	-2.2 mV	-1.02 mV	
-20	-16.8 mV	-14 mV	-8 mV	
0	-377 mV	-329mV	-223 mV	
+8	-1032 mV	-910 mV	-633 mV	
+15	-2000 mV			

Flatness=±2 dB

Tss=-51 dBm

Dmax=100 mW CW=20 dBm

*Tablo 18 2. Detektör 7906P-S7 1mV/mW duyarlılık (sensitivity)*

P <sub>giriş</sub> (dBm)	f=1GHz	f=750 MHz	f=500 MHz	P/N
-20	-19.3 mV	-15.6 mV	-9.6 mV	2
0	-417 mV	-362 mV	-257 mV	
+8	-1132 mV	-992 mV	-718 mV	
+15	-2000 mV			

Dinamik aralık +10dBm-(-30 dBm)=40 dBm

-1 mV→ -2 V

*Tablo 19*

P <sub>giriş</sub> (dBm)	f=1GHz	f=750 MHz	f=500 MHz	P/N
-20	-17.8 mV	-14.6 mV	-8.7 mV	3



0	-390 mV	-342 mV	-240 mV	
+8	-1000.6 mV	-896 mV	-657 mV	

*Tablo 20*

P <sub>giriş</sub> (dBm)	f=1GHz	f=750 MHz	f=500 MHz	P/N
-20	-9.8 mV	-10.8mV	-12.7 mV	4
0	-266 mV	-280 mV	-317 mV	
+8	-715 mV	-759 mV	-884 mV	

*Tablo 21 Narda Detektör 4506*

P <sub>giriş</sub> (dBm)	f=1GHz	f=750 MHz	f=500 MHz
-30	-0.8 mV	-0.8 mV	-0.8 mV
-20	-6.27 mV	-6.87 mV	-6.87 mV
0	-230 mV	-228mV	-226.8 mV
+8	-648.6 mV	-652 mV	-655 mV
+10	-833 mV	-837 mV	-841 mV

### 3. Üretilen Smart Anten Sistemi Prototipinin Ölçümleri

#### 3.1 Anten Hüzmesinin Döndürülmesi

##### Anten Hüzme Ayarı İçin Faz Hesabı

Adaptif anten sisteminden, istenen anten ışıma örüntüsünün oluşturulabilmesi için anten terminallerine uygulanması gereken genlik ve fazlar bilinmeli ve VM konumları buna göre ayarlanmalıdır. Gerekli faz ve genlik değerlerinin nasıl bulunduğu bu bölümde anlatılmıştır.

Anten sistemi daha önce de belirtildiği gibi sekiz adet 4'lü anten dizisinden oluşmuştur. 4'lü anten dizileri arasındaki uzaklık  $d=13\text{mm}$ 'dir.

$$f_A(\phi) = \sum_{n=1}^8 f_n(\phi) a_n e^{jk_0 d(n-1)\sin\phi}$$

$$k_0 d = q f_{\text{GHz}}, \quad q = \left( \frac{20\pi}{3} \right) d$$

$d=0.013$  m için  $q=0.27225$  olmaktadır.

Hüzmenin  $\Phi=\Phi_0$  açısında olabilmesi için  $a_n = |a_n| e^{j\Phi_n}$  değeri aşağıdaki gibi bulunur.

$$f_A(\phi) = \sum_{n=1}^8 f_n(\phi) |a_n| e^{jq f_{\text{GHz}}(n-1)\sin\phi + j\Phi_n}$$

ifadesinde

$\Phi_n + q f_{\text{GHz}}(n-1)\sin\Phi_0 = 0$  olmalıdır. Dolayısıyla

$\Phi_0 < 0$  için  $\Phi_n$  değerleri  $\Phi_n > 0$ ,

$\Phi_0 > 0$  için  $\Phi_n$  değerleri  $\Phi_n < 0$  olur.

Örneğin  $\Phi_0 = -20^\circ$  için  $f_{\text{GHz}} = 11.53$  GHz,  $\lambda_0 = 2.416$  m için Tablo 22'deki değerler elde edilir.

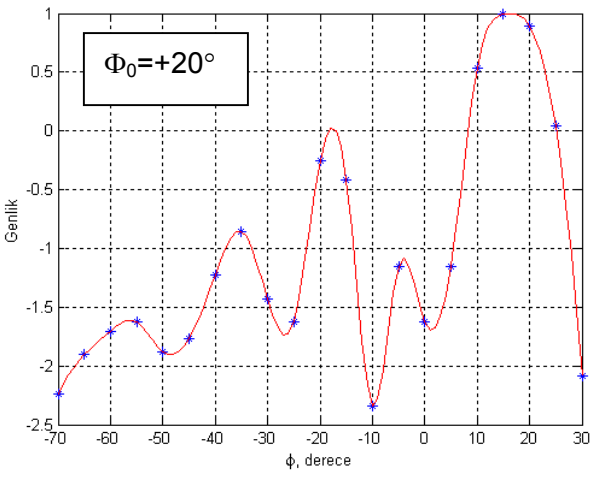
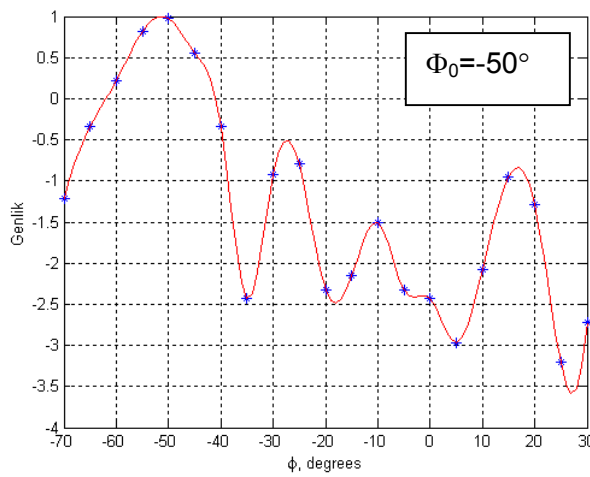
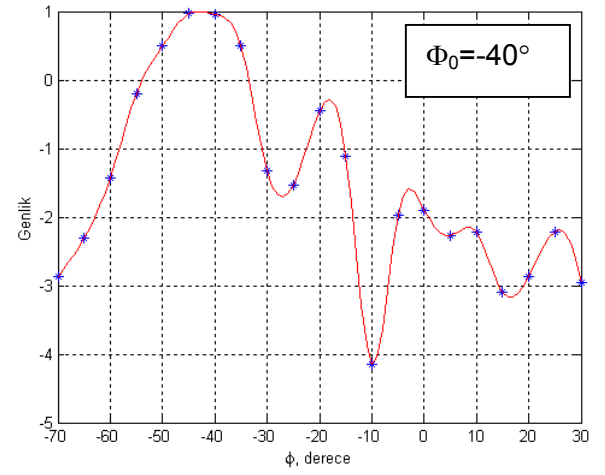
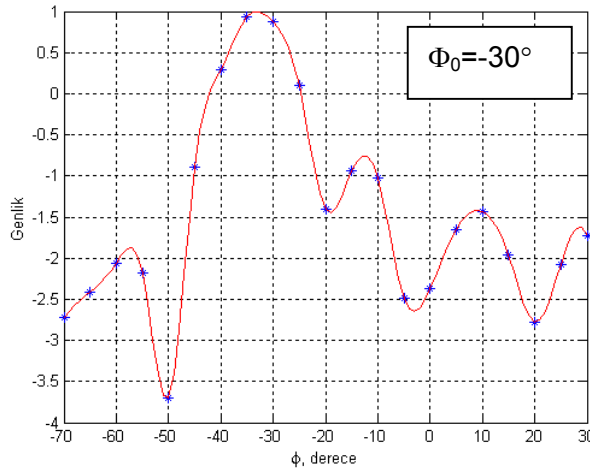
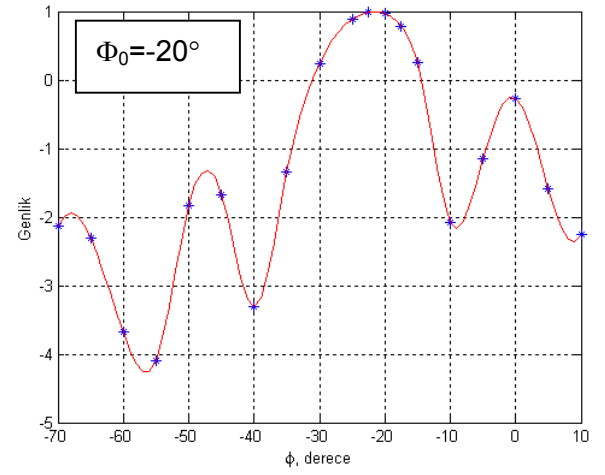
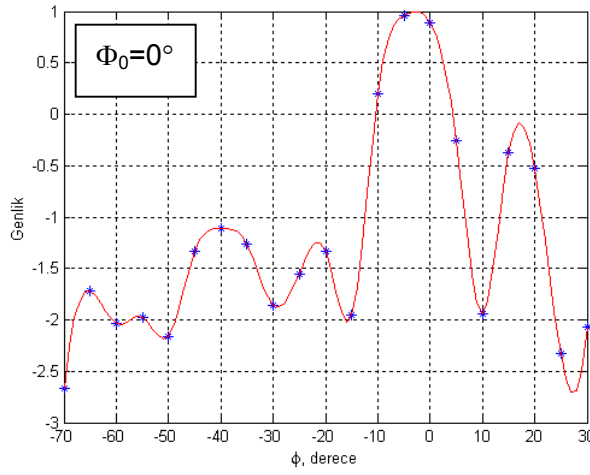
Tablo 22 Anteni  $-20^\circ$ 'ye döndürmek için hesaplanan değerler

#	Hesaplanan $\Phi_n$	2. kanal VM değerleri	1. kanal VM değerleri
1	0	0	0
2	$61.6^\circ$	$0.53\text{dB } \angle 66^\circ$	$3\text{dB } \angle 43^\circ$
3	$123.13^\circ$	$1.6\text{dB } \angle 124^\circ$	$3\text{dB } \angle 132^\circ$
4	$184.7^\circ$	$-0.89\text{dB } \angle 175^\circ$	$-0.85\text{dB } \angle 183^\circ$
5	$246.2^\circ$	$0.02\text{dB } \angle 256^\circ$	$3.1\text{dB } \angle 225^\circ$

6	308°	0.37dB ∠313°	2.1dB ∠320°
7	369°	0.018dB ∠369.6°	-0.02dB ∠365°
8	431°	1.35dB ∠429.8°	2.9dB ∠341.4°

Tablodaki ölçülen değerler VM kalibrasyonu yapılmadan ölçülen değerlerdir.

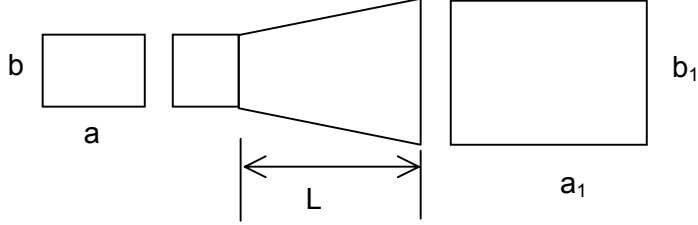
Bu fazları bilgisayardan vererek, anten hüzmesini istenilen yere döndürebilmek için bir bilgisayar program yazılmıştır. Test etmek için, anten hüzmesi bilgisayar kontrollü olarak farklı açılara döndürülmüş ve ışıma örüntüleri ölçülmüştür. Sistem ağır olduğu için yankısız odadaki platform tarafından döndürülemeyeceği için ölçümler laboratuvarın içerisinde spektrum analizör kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 0, -20,-30,-40,-50 ve +20 derecelere hüzme döndürülmüş ve Şekil 17’de çizilen ışıma örüntüleri elde edilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi anten hüzmesi istenilen yöne döndürülebilmektedir. Sistemdeki analog zayıflatıcılar Tablo 16’deki değerlere göre kalibre edilmiştir. Yapılan ölçümlerde anten hüzmesinin en fazla  $\pm 2^\circ$  hatayla istenilen yöne çevrilebildiği gözlenmiştir. Hüzme  $\Phi_0=0^\circ$  yönlendirildiğinde elde edilen ışıma örüntüsünde hüzme sıfırdan biraz kayık olarak gözükmemektedir. Bunun nedeni, sistemdeki kablo ve komponentlerin verdiği fazlardır. Sistem buralardaki faz kayıplarına göre de kalibre edildiği zaman bu kayıklık ortadan kalkacaktır.



Şekil 17 Anten hüzmesinin döndürülmesi

### 3.2 Sistemin Güç Düzeyi ölçümleri:

Üretilen anten sistemi aynı anda iki hüzme oluşturabilmektedir. Bunu test edebilmek için antenin karşısına farklı iki açıya iki huni anten yerleştirilmiştir. Şekil 18’de gösterilen huni antenlerin parametreleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 18 Huni anten

Huni1:

$a=23\text{mm}$ ,  $b=10\text{mm}$ ,  $a_1=110\text{mm}$ ,  $b_1=85\text{mm}$ ,  $L=170\text{mm}$

**F=11.5 GHZ**

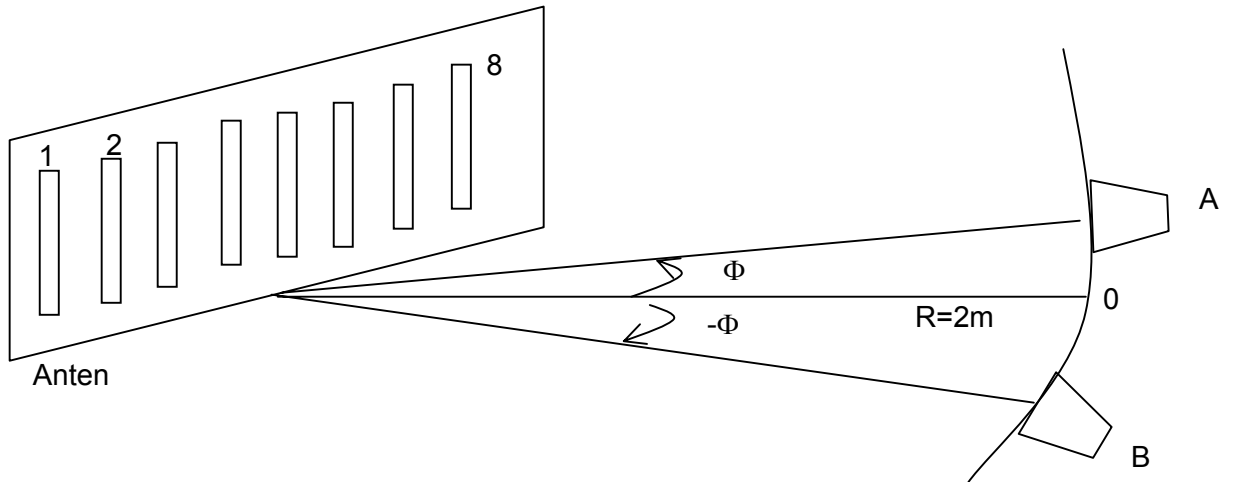
Kazanç Balanis’in Anten kitabındaki Fresnel integralleri hesaplanarak bulunmuştur. Antenin kazancı ve E ve H düzlemlerindeki hüzme genişlikleri 20.44 dB ve 15.93 ve 17.1 derece olarak hesaplanmıştır.

Huni2:

$a=23\text{mm}$ ,  $b=10\text{mm}$ ,  $a_1=75\text{mm}$ ,  $b_1=75\text{mm}$ ,  $L=150\text{mm}$

**F=11.5 GHZ**

Antenin kazancı ve E ve H düzlemlerindeki hüzme genişlikleri 18.77 dB ve 17.9 ve 24.75 derece olarak hesaplanmıştır.



Şekil 19 İki hüzme oluşumunun test edilmesi için kullanılan düzen



Şekil 20 Anten sisteminin test edilmesi için hazırlanan düzenek

Hüzmesi A anteni yönünde oluşan A-kanalı (çift kanal) için çalışma frekansı 11.5 GHz, B-kanalı içinse 11.6 GHz'dir.



Şekil 21 Tek dik dizinin aldığı güç

Verici antenin gücü  $-28$  dBm olarak alındığında, Şekil 21'yi kullanarak anten sistemindeki tek bir dizinin aldığı yükü şu şekilde hesaplayabiliriz:

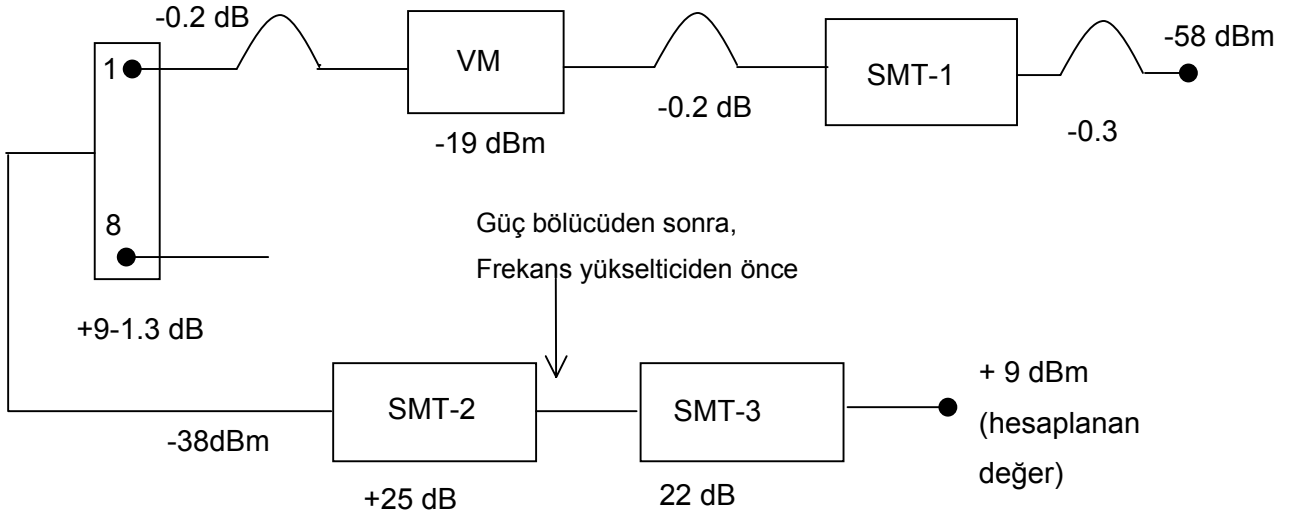
$$P_r = P_t G_t G_r \left( \frac{\lambda_0}{4\pi R} \right)^2$$

$$P_r(\text{dBm}) = P_t(\text{dBm}) + G_t(\text{dBm}) + G_r(\text{dBm}) + 20 \log \left( \frac{\lambda_0}{4\pi R} \right)$$

$$= -28 + 20 + 10 + 20 \log \left( \frac{\lambda_0}{4\pi R} \right) = -58 \text{ dBm}$$

Tek bir dikey dizinin kazancı:

$$G_r = 10 \log \left( \frac{32500}{24^\circ \times 120^\circ} \right) = 10.4 \text{ dB}$$

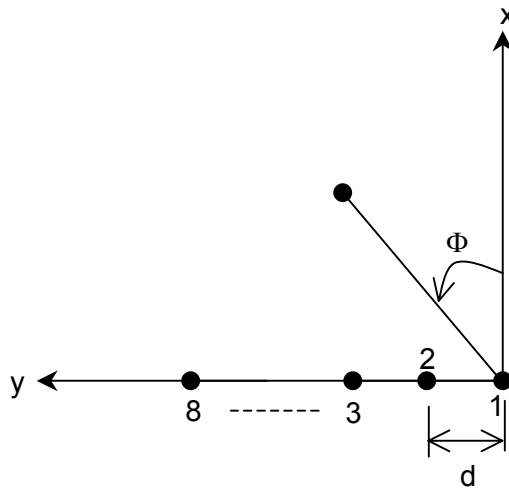


Şekil 22 Güç değerlerinin hesaplanması

Şekil 22'deki kayıplar kullanılarak antenin çıkışında elde edilmesi gereken güç hem çift (A) hem de tek kanal (B) için +9dBm olarak hesaplanmıştır. Şekil 20'deki düzenekle yapılan ölçümlerde, bu değer 8.5dBm olduğu görülmüştür, bu da hesaplanana çok yakın bir değerdir.

### 3.3 Toplam ( $\Sigma$ ) ve Fark ( $\Delta$ ) Örüntüleri

Bu projede üretilen anten sistemi, geliştirilebilecek bazı yazılımlarla, yön bulma, hareketli bir/iki hedefi takip etme gibi bazı özelliklere sahip olabilecektir. Bu bölümde, yön bulmada kullanılabilecek toplam ve fark örüntülerinin nasıl elde edildiği anlatılacaktır.



Şekil 23 Sekizli dizi

Şekil 23'de sekizli dogrusal dizi görülmektedir. Bu dizi için toplam ve fark örüntülerinin nasıl hesaplandığı aşağıda özetlenmiştir.

$$f_{\Sigma}(\Phi) = \sum_{n=1}^8 a_n e^{j\Phi_n} e^{jk_0 d(n-1)\sin \Phi}$$

$\Phi_0$ 'da maksimum elde edebilmek için gerekli olan fazlar şu şekilde bulunabilir.

$$\Phi_n + k_0 d(n-1)\sin \Phi_0 = 0$$

Bu durumda, toplam  $\Sigma$  ışıma örüntüsünü elde etmek için gerekli fazlar aşağıda verilmiştir:

$$\Phi_n^{\Sigma} = -k_0 d(n-1)\sin \Phi_0 = -q f_{GHz}(n-1)\sin \Phi_0.$$

Toplam  $\Sigma$  dizi faktörü ise

$$f_{\Sigma}(\Phi) = \sum_{n=1}^8 a_n e^{jq f_{GHz}(n-1)(\sin \Phi - \sin \Phi_0)}$$

Fark  $\Delta$  örüntüsü ise şu şekilde yazılabilir:

$$f_{\Delta}(\Phi) = \sum_{n=1}^4 a_n e^{jq f_{GHz}(n-1)(\sin \Phi - \sin \Phi_0)} + \sum_{n=5}^8 -a_n e^{jq f_{GHz}(n-1)(\sin \Phi - \sin \Phi_0)}$$

Bu durumda gerekli fazlar aşağıdaki gibi olacaktır:

$$\Phi_n^{\Delta} = \begin{cases} -q f_{GHz}(n-1)\sin \Phi_0, & 2 \leq n \leq 4 \\ \pi - q f_{GHz}(n-1)\sin \Phi_0, & 5 \leq n \leq 8 \end{cases}$$

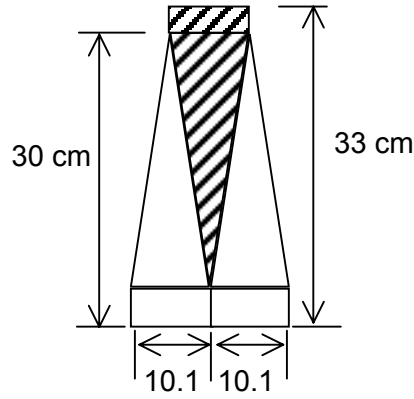


#### 4. Yankısız Oda (Anechoic Chamber) Tasarımı

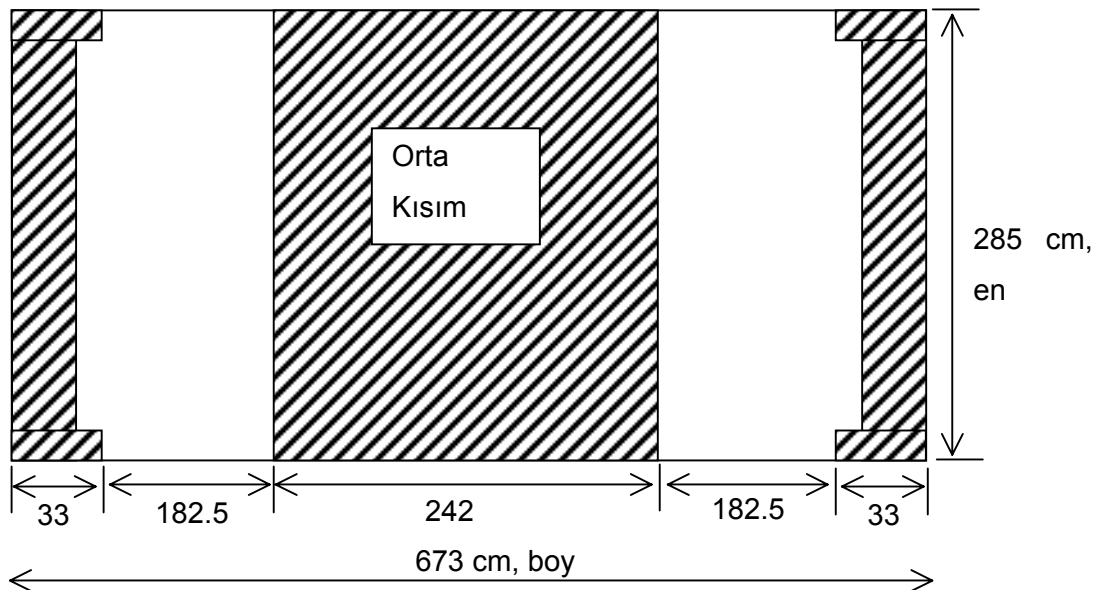
Bu proje kapsamında, başka projelerden de destek alınarak anten ölçümlerinde kullanılmak üzere bir yankısız oda yapılmıştır. Yankısız oda yapılan odanın büyüklüğü 285cmx673cmx263cm'dir. Odanın duvarları önce tamamen metal plakalarla kaplanarak dışardan içeriye ya da tersi yönde sinyal sızması engellenmiştir. Daha sonra odanın tamamı (tavan, taban, yan duvarlar) farklı boylarda mikrodalga soğurucularla kaplanmıştır. Odaya giriş için iki kapı yapılmıştır, biri alıcı diğeri ise verici anten düzeneğine yakındır. Kapılar da sinyal sızdırmayacak şekilde tasarlanmış ve gerekli malzemelerle kaplanmıştır. Kullanılan soğurucularla ilgili bilgiler aşağıda özetlenmiştir.

##### Büyük Boy Soğurucular (VHP-12)

Yankısız odada kullanılan büyük boy soğurucuların boyutları Şekil 24'de verilmiştir. Bir panelde 6 sıra piramit vardır.



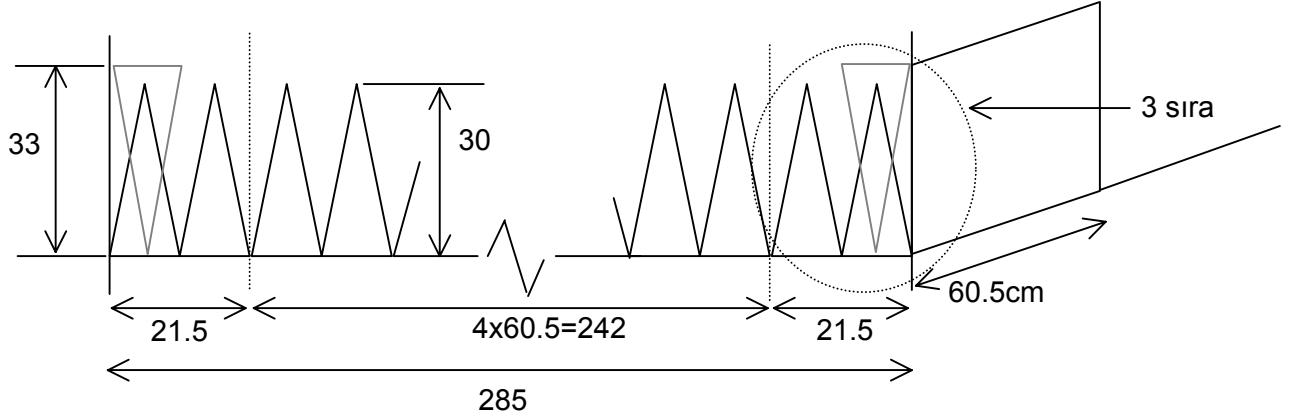
Şekil 24 Büyük boy mikrodalga soğurucunun boyutları



Şekil 25 Yankısız odanın tavan ve tabanı

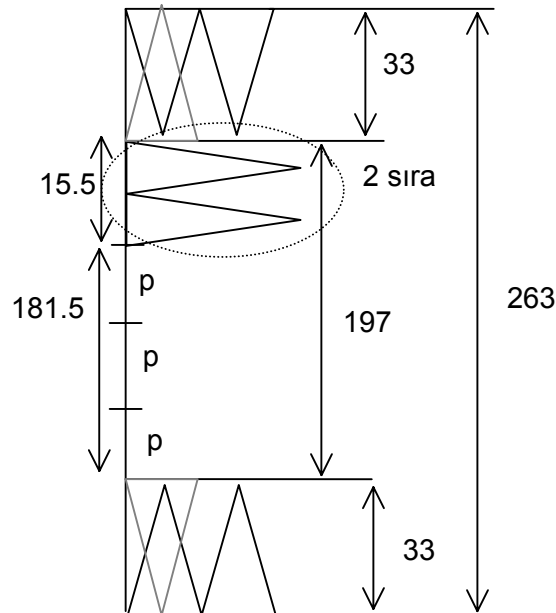
Taban, tavan ve yan duvarların orta kısımlarında büyük boy soğuruculardan kullanılmıştır.

Taban ve tavanın orta kısmında boydan bakıldığında  $4 \times 60.5 = 242$  cm için 4 blok soğurucu gerekmektedir. Enden görünüş ise Şekil 26'de verilmiştir.



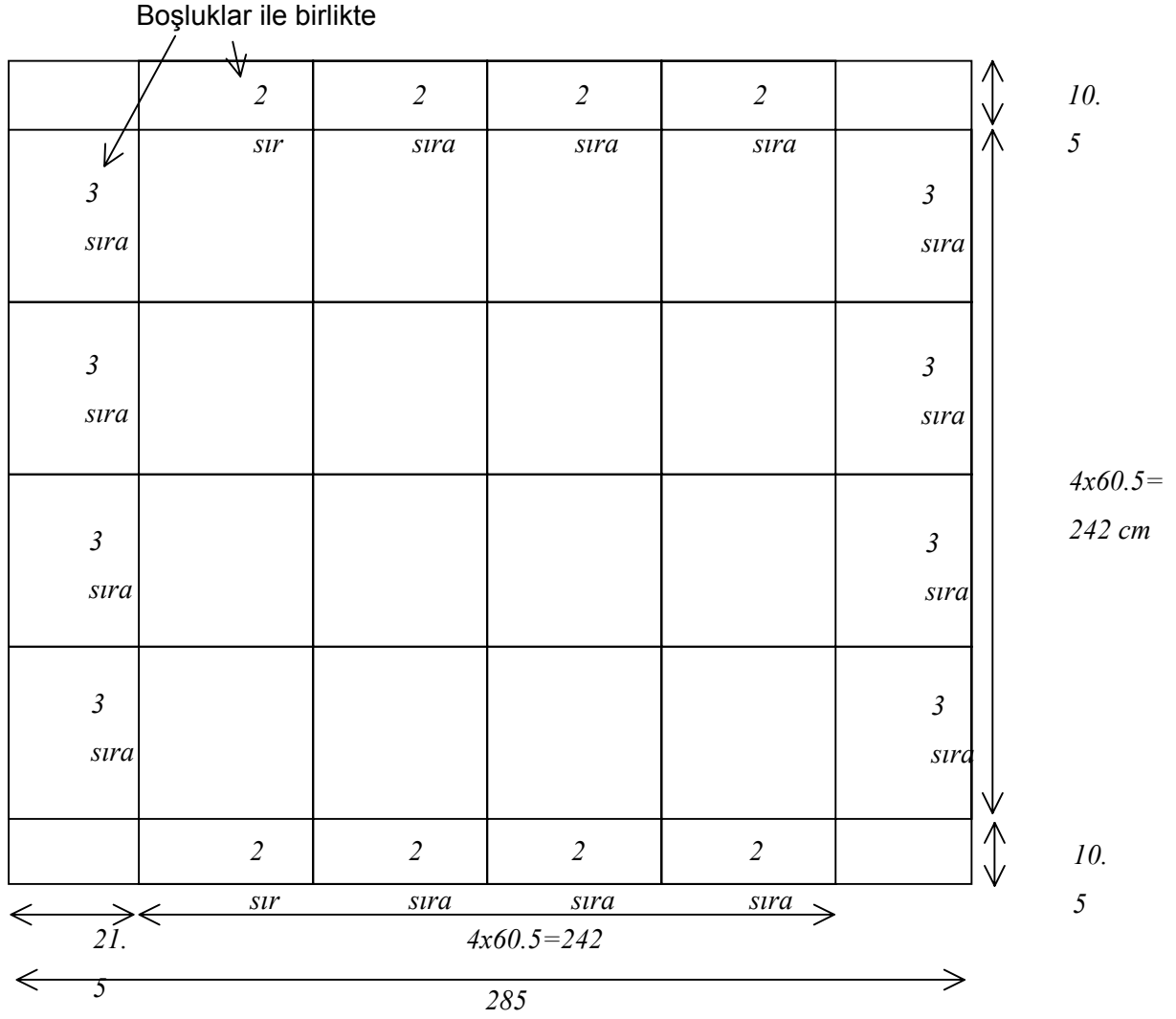
Şekil 26 Orta Kısım

1 Bloкта 4 panel ve 6 sıra gerekmektedir, bu da toplamda 5 panel eder. Boylamasına 4 blok kullanıldığı düşünüldüğünde 20 panel, tavan ve tabanın orta kısımlarının kaplanması için ise toplam 40 panel gerektiği ortaya çıkmaktadır.,



Şekil 27 Yan duvarların orta kısımları

Yan duvarların orta kısımlarında kullanılan büyük boy soğurucuların kapladığı alan Şekil 27'de gösterilmiştir. Her blok için 3panel ve 2 sıra (1.5 sıra,  $10.1 \times 1.5 = 15.5$ cm) gerekmektedir. 2 duvar için toplam 4 blok x (3 panle + 2 sıra) =27 panel gerekmektedir.



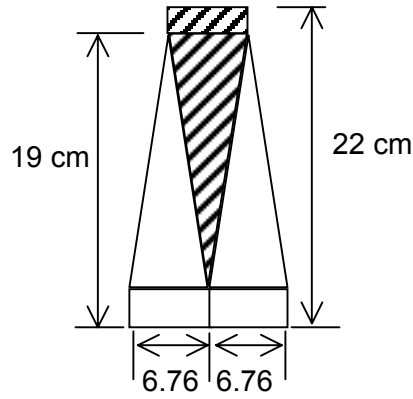
Şekil 28 Ön ve Arka duvarlarda orta kısım

Şekil 28'te görüldüğü gibi, ön ve arka duvarların orta kısımları için toplamda 46 panel gerekmektedir (2 duvar x (16p+8x2sıra+8x3sıra+4x2/3 sıra)).

Bu durumda taban, tavan, iki yan duvar, ön ve arka duvarların orta kısımları için 113 adet büyük boy panel kullanılmıştır.

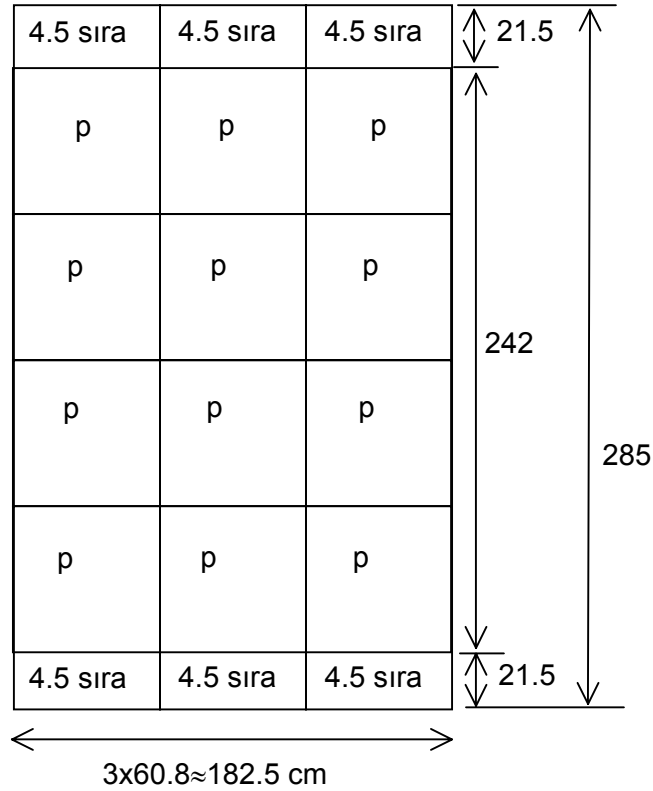
#### Küçük Boy Soğurucular (VHP-8)

Yankısız odada kullanılan küçük boy soğurucuların boyutları Şekil 29'da verilmiştir. Bir panelde 9 sıra piramit vardır.



Şekil 29 Küçük boy mikrodalga soğurucunun boyutları

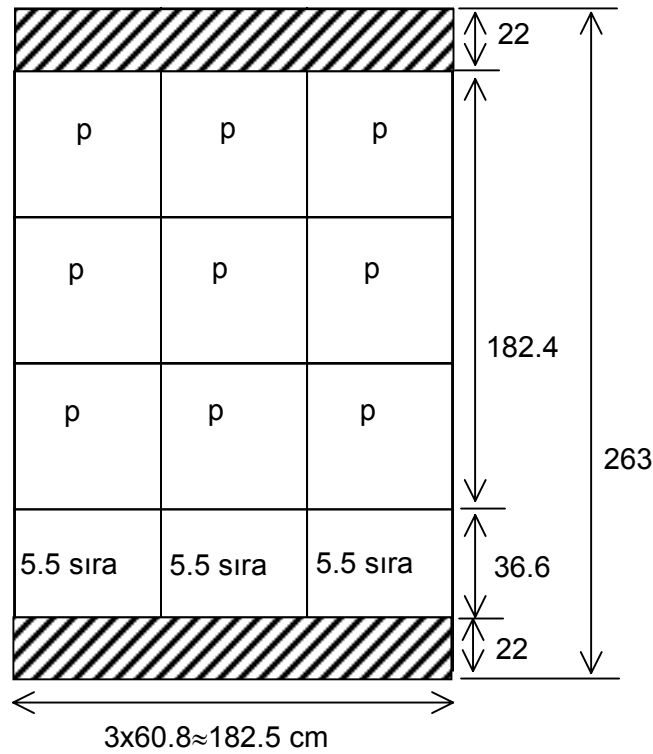
Küçük boy soğurucular tavan ve tabanda, Şekil 25’de orta kısım dışında kalan ön ve arka kısımlarda kullanılmıştır. Ön ve arka kısımlarda panellerin dağılımı Şekil 30’da görülmektedir.



Şekil 30 Tavan ve tabanın ön ve arka kısımları

Tabanın ön kısmı için  $3 \times 4 \text{ panel} + 6 \times 4.5 \text{ sıra} = 15$  panel gerekmektedir. Tavan ve tabanda kullanılan toplam küçük boy sayısı ( $4 \times 15 \text{ panel} =$ ) 60 paneldir.

Yan duvarlarda orta kısım dışında kalan ön ve arka kısımlarda da küçük boy soğurucular kullanılmıştır. Bunların dağılımı Şekil31’de görülmektedir.

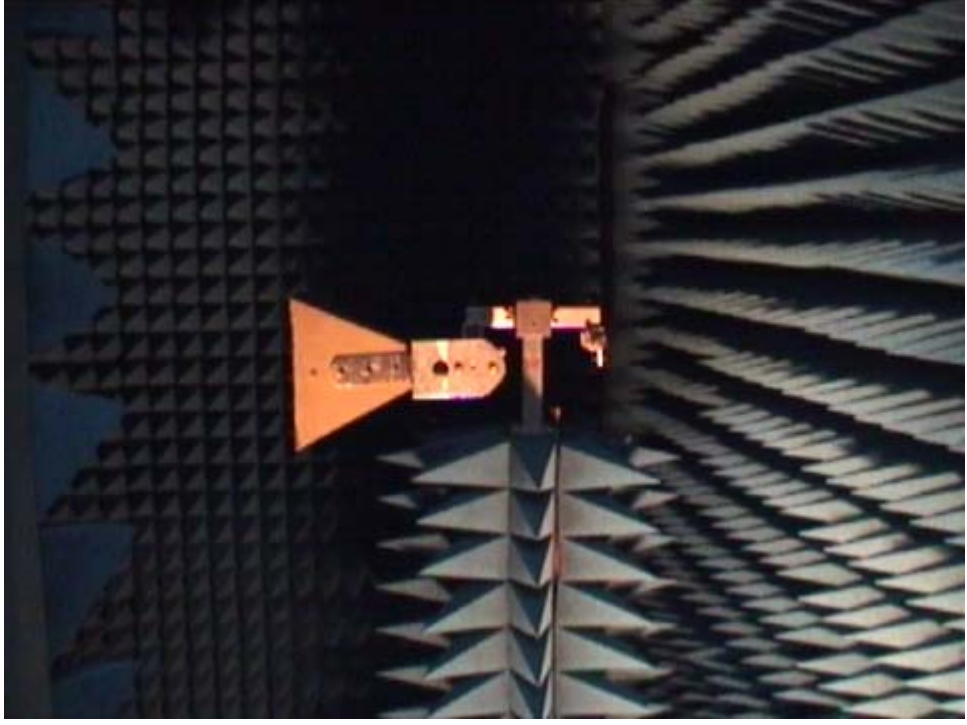


Şekil 31 Yan duvarların ön ve arka kısımları

Yan duvarların ön kısmında kullanılan panel sayısı 3 x 3 panel+3 x 5.5sıra ≈11 paneldir. İki yan duvarın ön ve arka kısımlarında kullanılan toplam küçük boy mikrodalga soğurucu sayısı ise 44 paneldir.

Toplamda 104 adet küçük boy mikrodalga soğurucu kullanılmıştır.

Yankısız odanın bir bölümünü gösteren bir fotoğraf Şekil 32’de görülmektedir.



Şekil 32 Yankısız oda

## 5. BÜTÇE

	SARF	SEYAHAT	TOPLAM	AÇIKLAMA
<b>ÖDENEK</b>	<b>27.325.200.000</b>	<b>780.000.000</b>	<b>28.105.200.000</b>	
HARCAMALAR				
30-Haz-00	1.273.929.480		1.273.929.480	Mini Circuits 2.040,95 \$
30-Haz-00	1.029.592.434		1.029.592.434	Pulsar 1.649,50 \$
30-Haz-00	2.076.662.034		2.076.662.034	Amplifonix 3.327 \$
30-Haz-00	341.428.955		341.428.955	Anaren 547 \$
30-Haz-00	3.052.262.503		3.052.262.503	Pole Zero 4.890 \$
30-Haz-00	1.560.461.403		1.560.461.403	Astrolab 2.500 \$
30-Haz-00	404.877.373		404.877.373	Synergy 650 \$
30-Haz-00	989.986.452		989.986.452	Elnox 2.594,50 Sfr ~1.517 \$
30-Haz-00	360.845.649		360.845.649	Galaxis 1.196 DEM ~ 544,56 \$
30-Haz-00	153.048.199		153.048.199	Castle 163 GBP ~ 235 \$
30-Haz-00	3.193.228.344		3.193.228.344	Parzich 5.115,84 \$ ~
31-Tem-00	2.100.245.835		2.100.245.835	Richardson 3.362,40 \$
31-Tem-00	434.740.394		434.740.394	Rogers 696 \$
14-Eyl-00	839.859.265		839.859.265	8 kalem lehimleme aparatı TEKİMPEKS A.Ş. 748,52 GBP ~ 1.076 \$
27-Eki-00	1.581.345.190		1.581.345.190	Pulsar 2.325 \$
01-Eki-00		768.412.205	768.412.205	Ö.Çivi Fransa
<b>HARCAMA</b>	<b>19.392.513.510</b>	<b>768.412.205</b>	<b>20.160.925.715</b>	
KALAN	7.932.686.490	11.587.795	7.944.274.285	
<b>ÖDENEK</b>	<b>0</b>	<b>780.000.000</b>	<b>780.000.000</b>	
<b>A.ÖDENEK</b>	<b>7.932.686.490</b>	<b>791.587.795</b>	<b>8.724.274.285</b>	
EK ÖDENEK		300.000.000	300.000.000	20.04.2001
EK ÖDENEK	6.850.000.000		6.850.000.000	01.05.2001
AKTARMA	-100.000.000	100.000.000		08.05.2001
<b>R.ÖDENEK</b>	<b>14.682.686.490</b>	<b>1.191.587.795</b>	<b>15.874.274.285</b>	
HARCAMALAR				
28-Şub-01	299.904.354		299.904.354	Mini Circuits 434 \$
02-May-01		1.186.155.403	1.186.155.403	Ö.Çivi İsveç
14-May-01	1.205.695.448		1.205.695.448	Elektronik çip malzeme ELEKTRO
29-Haz-01	6.848.221.380		6.848.221.380	mikrodalga absorb eden paneller EMERSON EURO 6370 ~
25-Tem-01				mikrodalga absorb eden paneller akreditif masrafı
07-Ağu-01				Mini Circuits akreditif masrafı
31-Ağu-01				Parzich akreditif masrafı
05-Eyl-01				mikrodalga absorb eden paneller akreditif masrafı
<b>HARCAMA</b>	<b>8.353.821.182</b>	<b>1.186.155.403</b>	<b>9.539.976.585</b>	
KALAN	6.328.865.308	5.432.392	6.334.297.700	
<b>ÖDENEK</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
<b>A.ÖDENEK</b>	<b>6.328.865.308</b>	<b>5.432.392</b>	<b>6.334.297.700</b>	
HARCAMALAR				
26-Mar-02	306.026.133		306.026.133	elektronik malzeme NEL A.Ş.
02-Nis-02	921.798.831		921.798.831	elektronik malzeme STATİK
<b>HARCAMA</b>	<b>1.227.824.964</b>	<b>0</b>	<b>1.227.824.964</b>	
KALAN	5.101.040.344	5.432.392	5.106.472.736	
<b>T.ÖDENEK</b>	<b>34.075.200.000</b>	<b>1.960.000.000</b>	<b>36.035.200.000</b>	
T.HARCAMA	27.746.334.692	1.954.567.608	29.700.902.300	
<b>T.KALAN</b>	<b>6.328.865.308</b>	<b>5.432.392</b>	<b>6.334.297.700</b>	

## 6. SONUÇ

COST 260 Adaptif Anten Dizileri başlıklı araştırma projesinde, uydu iletişimine yönelik 11.49 GHz-11.678 GHz frekans aralığında çalışan, faz taramalı adaptif bir almaç anten sistemi tasarlanmış, üretilmiş ve test edilmiştir. Geliştirilen sistem aynı anda, farklı ya da aynı frekansta iki hüzme oluşturmaktadır. Tüm kontroller bilgisayar ortamında gerçekleştirilmektedir. Sistem, yüzey monteli konektörsüz mikrodalga ve elektronik komponentler ile MIC (Microwave Integrated Circuit) teknolojisine uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Akıllı anten sistemi, gerekli programlar yazıldığında, hüzme tarama, sinyal takip ve yön bulma gibi özelliklere sahip olacaktır. Sistemde iki bağımsız hüzme ve gösterim kanalı bulunacaktır.

Bu raporda, anten sisteminin tüm parçaları ayrı ayrı tanıtılmış, tasarım ve üretim işlemleri ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Ayrıca test sonuçları da verilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda, üretilen anten sisteminin istenilen özellikleri sağladığı görülmüştür. Anten hüzmesi istenen yöne  $\pm 2^\circ$  hata ile dönmektedir. İleride, adaptif anten sisteminin daha etkin kullanımı için, yön bulma, sinyal takip, enterferansı engellemek için hüzme oluşturma ve benzeri işlevleri yerine getirmek üzere sinyal işleme algoritmaları geliştirilmesi ve gerekli yazılımların programlanması için yüksek lisans tezleri verilecektir.



## 7. Referanslar

- [1] Saunders S., Antennas and Propagation for Wireless Communications Systems, Wiley, (1999).
- [2] Liberti J.C., and Rappaport T.S., Smart Antennas for Wireless Communications, Prentice Hall, (1999)
- [3] Tsoulos G., Adaptive Antennas for Wireless Communication, Wiley-IEEE Press, (2001).
- [4] Godara L., “Applications of Antenna Arrays to Mobile Communications, Part I: Performance Improvement, Feasibility, and System Considerations”, Proceedings IEEE, volume. 85, no. 7, p.1031-1060, July 1997
- [5] Godara L., “Applications of Antenna Arrays to Mobile Communications, Part II: Beam Forming and Direction of Arrival Considerations”, Proceedings IEEE, volume. 85, no. 8, p.1195-1245, August 1997